



PATRÍCIA DOERL BARROSO

**CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE ESPÉCIES
FLORESTAIS NATIVAS: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E
BIOQUÍMICAS**

**LAVRAS – MG
2025**

PATRÍCIA DOERL BARROSO

**CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS:
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências da disciplina Defesa de Projeto, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura para obtenção do título de doutora.

Prof. Dr. Anderson Cleiton José
Orientador

Prof. Dr. José Marcio Rocha Faria
Coorientador

**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).**

Doerl Barroso , Patricia .

Condicionamento de sementes de espécies florestais nativas: respostas
fisiológicas e bioquímicas / Patricia Doerl Barroso . - 2025.
141 p. : il.

Orientador: Anderson Cleiton José

Coorientador: José Marcio Rocha Faria

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Sementes florestais . 2. Condicionamento fisiológico . 3. Bioquímica . I. Cleiton
José, Anderson . II. Rocha Faria , José Marcio. III. Universidade Federal de Lavras.
IV. Título.

PATRÍCIA DOERL BARROSO

**CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS:
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS**

**SEED CONDITIONING OF NATIVE FOREST SPECIES: PHYSIOLOGICAL AND
BIOCHEMICAL RESPONSES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências da disciplina Defesa de Projeto, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura para obtenção do título de doutora.

APROVADA em 24 de abril de 2025

Dr. Anderson Cleiton José	UFLA
Dr. José Marcio Rocha Faria	UFLA
Dra Elisa Monteze Bicalho	UFV
Dra Marcela Carlota Nery	UFPI
Dr Wilson Vicente Souza Pereira	UFVJM

Prof. Dr. Anderson Cleiton José
Orientador

Prof. Dr. José Marcio Rocha Faria
Coorientador

**LAVRAS – MG
2025**

*Aos meus pais, pela base sólida que sempre me ofereceram e
pela força nos momentos difíceis.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha fonte constante de fé e perseverança, e por sempre iluminar meu caminho, especialmente nos momentos de incerteza.

À minha mãe, Laurinda, pelo amor incondicional e apoio inabalável em todas as fases da minha vida, e ao meu pai, Francisco, pelo exemplo de caráter, dedicação e por nunca medir esforços para me ajudar.

À minha família como um todo, com carinho especial ao meu primo Lucas, que esteve ao meu lado nos momentos mais desafiadores.

Ao meu orientador, Dr. Anderson Cleiton José, pela confiança depositada, pela paciência, pelas orientações valiosas e pela amizade construída ao longo do percurso.

Ao meu coorientador, Dr. José Márcio Rocha Faria, por compartilhar seu conhecimento com leveza, pelas conversas descontraídas e pela organização dos melhores acampamentos.

À técnica do laboratório, Dra. Olivia Tonetti, por todo conhecimento, pela parceria diária no laboratório e pelas conversas que sempre trouxeram calma e leveza.

À Cleise, minha companheira de jornada no doutorado e grande amiga, por dividir comigo os desafios da pesquisa e por ser um dos maiores presentes que a vida acadêmica me proporcionou.

Ao Wilson Vicente, por sua amizade, pelos conselhos sempre certos e pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos colegas do Laboratório de Sementes Florestais em especial, Keygla Beatriz, Mayara e Alessandra pela parceria e pelos bons momentos compartilhados.

Ao Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas, à professora Dra. Elisa Bicalho pela disponibilidade, Josyelem e Geovane por toda a ajuda prestada.

Aos amigos que a cidade de Lavras me deu Gih, Fabiola, Fabiano e, especialmente, à Layane, que foi meu porto seguro em tantas ocasiões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFLA.

À CAPES, pela bolsa, ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

E à Universidade Federal de Lavras, pela estrutura e oportunidades ao longo dessa jornada.

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas depende do uso de sementes de alta qualidade fisiológica para garantir o estabelecimento adequado das mudas. O condicionamento fisiológico tem se mostrado uma estratégia promissora para melhorar a germinação e o vigor. Este estudo avaliou os efeitos do condicionamento fisiológico com diferentes moléculas sinalizadoras, tais como nitroprussiato de sódio, ácido giberélico, nitrato de potássio e extrato aquoso de fumaça sobre aspectos fisiológicos e bioquímicos de sementes de quatro espécies florestais. O condicionamento, de maneira geral aumentou a germinação, a velocidade e a uniformidade de germinação das sementes das quatro espécies estudadas. O mesmo foi observado em sementeira, com maior taxa de emergência e crescimento mais uniforme em comparação ao controle. Sementes condicionadas apresentaram uma redução nos níveis de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), apontando menor estresse oxidativo. Foi observado aumento na atividade de enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), reforçando a capacidade de redução dos danos causados por espécies reativas de oxigênio. A avaliação do armazenamento após o condicionamento demonstrou que, embora o condicionamento fisiológico melhore a germinação e o vigor das plântulas, há redução na longevidade das sementes, tornando-as mais suscetíveis à deterioração ao longo do tempo. Os resultados reforçam a importância do condicionamento fisiológico para melhorar o desempenho das sementes e a necessidade de considerar a viabilidade após o armazenamento.

Palavras chave: germinação; dano oxidativo; vigor de sementes; armazenamento.

ABSTRACT

The recovery of degraded areas depends on the use of seeds of high physiological quality to ensure the proper establishment of seedlings. Physiological conditioning has proven to be a promising strategy for improving germination and vigor. This study evaluated the effects of physiological conditioning with different signaling molecules, such as sodium nitroprusside, gibberellic acid, potassium nitrate, and aqueous smoke extract, on the physiological and biochemical aspects of seeds from four forest species. Seed conditioning increased the germination rate, germination speed, and uniformity of seeds from the four species studied. The same was observed in the seedbeds, which presented a greater emergence rate and more uniform growth than did the control. The conditioned seeds presented a reduction in hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA) levels, indicating decreased oxidative stress. An increase in the activity of the antioxidant enzymes superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) was observed, reinforcing the ability to reduce damage caused by reactive oxygen species. The evaluation of storage after conditioning revealed that although physiological conditioning improved germination and seedling vigor, there was a reduction in seed longevity, increasing susceptibility to deterioration over time. These results reinforce the importance of physiological conditioning to improve seed performance and the need to consider viability after storage.

Keywords: germination; oxidative damage; seed vigor; storage.

INDICADORES DE IMPACTO

Este estudo trouxe contribuições importantes para a recuperação de áreas degradadas, principalmente por oferecer alternativas viáveis para melhorar a germinação e o vigor de sementes de espécies florestais nativas. Ao adotar o condicionamento fisiológico como técnica de tratamento pré-germinativo, foi possível observar uma melhoria no desempenho das sementes, aumentando a eficiência na produção de mudas, otimizando o uso das sementes e produzindo lotes mais homogêneos no viveiro.

Sementes com maior velocidade e uniformidade de germinação aumentam as chances de estabelecimento e sobrevivência das plântulas em campo, o que é essencial em programas e recuperação de áreas degradadas, especialmente quando utiliza-se a técnica de semeadura direta.

Por fim, os impactos desse trabalho não se limitam ao ambiente natural. Melhorar a qualidade das sementes também tem reflexos sociais, principalmente para pequenos produtores, viveiristas e comunidades que dependem da produção de mudas como fonte de renda. A adoção de práticas simples e eficientes, como o condicionamento fisiológico, pode fortalecer essas iniciativas e democratizar o acesso a tecnologias.

IMPACT INDICATORS

This study made important contributions to the restoration of degraded areas, primarily by offering viable alternatives for improving the germination and vigor of native forest species seeds. By adopting physiological conditioning as a pre-germination treatment technique, improved seed performance was observed, increasing seedling production efficiency, optimizing seed use, and producing more homogeneous batches in the nursery.

Seeds with faster and more uniform germination increase the chances of seedling establishment and survival in the field, which is essential in programs and the restoration of degraded areas, especially when using the direct seeding technique.

Finally, the impacts of this work are not limited to the natural environment. Improving seed quality also has social implications, especially for smallholder farmers, nurseries, and communities that depend on seedling production as a source of income. The adoption of simple and efficient practices, such as physiological conditioning, can strengthen these initiatives and democratize access to technologies.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Qualidade de sementes	13
2.2. Condicionamento fisiológico	14
2.3. Sistema antioxidante enzimático	16
2.4. Armazenamento de sementes após o condicionamento fisiológico	18
REFERÊNCIAS	19
SEGUNDA PARTE	23
CAPÍTULO 1: Efeito do nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA ₃), nitrato de potássio (KNO ₃) e extrato aquoso de fumaça (EAF) no condicionamento fisiológico de sementes de espécies florestais.....	23
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2: Condicionamento fisiológico e armazenamento de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> : efeitos na germinação, metabolismo antioxidante e viabilidade ao longo do tempo 42	
1. INTRODUÇÃO	44
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	62
CAPÍTULO 3: Condicionamento fisiológico em sementes de <i>Senna multijuga</i> (Rich.) H. S. Irwin & Barneby	67
1. INTRODUÇÃO	69
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4. CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	88
CAPÍTULO 4: Condicionamento de sementes de <i>Solanum granulosoleprosum</i> Dunal: alterações fisiológicas e bioquímicas.	92
1. INTRODUÇÃO	94
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	95
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
4. CONCLUSÕES	112

REFERÊNCIAS	112
CAPÍTULO 5: Condicionamento fisiológico em sementes de <i>Myracrodruon urundeuva</i> M. Allemão: efeito no desempenho e armazenamento.	117
1. INTRODUÇÃO	119
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	120
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	124
4. CONCLUSÕES	136
REFERÊNCIAS	136
TERCEIRA PARTE	140
CONSIDERAÇÕES FINAIS	140

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A utilização de espécies florestais nativas para a recuperação ecológica de ecossistemas degradados tem ganhado destaque nos últimos anos, impulsionada pela necessidade de reduzir a crise ambiental (Pedrini *et al.*, 2020). As sementes desempenham papel fundamental nesse processo, seja como unidade de dispersão, como matéria prima de viveiros para produção de mudas destinadas a recuperação ou mesmo em semeadura direta em áreas a serem recuperadas. O sucesso e o custo geral da recuperação são impactados pelas taxas de mortalidade de novos indivíduos no estágio de semente ou mudas, necessitando assim de lotes de sementes de qualidade (Cross *et al.*, 2020).

Dessa forma, é essencial garantir que as sementes utilizadas apresentem alta qualidade fisiológica, sanitária e genética, assegurando não apenas altas taxas de germinação e vigor, mas também a resiliência e a adaptação das espécies ao ambiente recuperado.

Inúmeros estudos sobre tecnologia de sementes são realizados em busca de estratégias que promovam o aumento do potencial germinativo das sementes e consequentemente o aumento do estabelecimento das plântulas no campo, e uma das estratégias que apresenta um bom resultado é o condicionamento fisiológico das sementes (Paparella *et al.*, 2015)

O condicionamento fisiológico auxilia na síntese de metabólitos que são fundamentais para o processo de germinação, fazendo com que ela ocorra de forma mais rápida, o que reduz o tempo no qual as sementes ficam expostas as condições desfavoráveis, como o ataque de patógenos e principalmente a deficiência hídrica, dentre outras (Marcos-Filho, 2005).

Diversas substâncias são mencionadas na literatura como soluções condicionantes para sementes, incluindo o nitroprussiato de sódio (SNP) (Oliveira *et al.*, 2021), o ácido giberélico (GA₃) (Wang *et al.*, 2021), o nitrato de potássio (KNO₃) (Mahmood *et al.*, 2024) e o extrato aquoso de fumaça (Ofoe *et al.*, 2022). Esses compostos desempenham papéis distintos na regulação fisiológica das sementes, promovendo a germinação e o vigor inicial das plântulas.

Conhecer como os condicionantes atuam na fisiologia das sementes é necessário e as análises bioquímicas são fundamentais para compreender essa atuação. Enquanto o H₂O₂, em baixas concentrações, atua como sinalizador de respostas fisiológicas, seu acúmulo excessivo provoca danos oxidativos, resultando no aumento dos níveis de MDA, um marcador da peroxidação lipídica e da degradação celular (Diya *et al.*, 2024).

Para mitigar esses efeitos negativos, as sementes condicionadas ativam enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), que desempenham um

papel essencial na eliminação do H_2O_2 e na proteção contra danos oxidativos, preservando a viabilidade celular (Rajput *et al.*, 2021).

Embora o condicionamento fisiológico seja amplamente utilizado para melhorar a germinação das sementes, esse tratamento pode, em alguns casos, reduzir sua longevidade e capacidade de armazenamento, comprometendo o período durante o qual permanecem viáveis (Tu *et al.*, 2020).

A definição da estratégia mais eficiente de condicionamento fisiológico para melhorar a qualidade das sementes de cada espécie, bem como a determinação do período máximo de armazenamento viável após o tratamento. A escolha adequada do método de condicionamento pode potencializar a germinação e o vigor das sementes, enquanto o conhecimento sobre sua longevidade pós-tratamento permite a adoção de práticas de armazenamento que preservem sua viabilidade e desempenho fisiológico ao longo do tempo.

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do condicionamento fisiológico na germinação e no crescimento inicial de plântulas das espécies *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*, por meio de análises de parâmetros fisiológicos e bioquímicos. Adicionalmente, buscou-se investigar a resposta das sementes condicionadas durante o armazenamento, a fim de verificar possíveis alterações na viabilidade e no desempenho germinativo ao longo do tempo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Qualidade de sementes

A qualidade das sementes é definida por Carvalho e Nakagawa (2012) como características relativas às propriedades genéticas, físicas, fisiológicas e sanitária das sementes. Para determinar a qualidade das sementes, um dos métodos mais utilizados é a análise da qualidade fisiológica, vários testes são realizados para esse tipo de análise entre eles, o de germinação (Brasil, 2009).

A germinação de sementes, em teste de laboratório, pode ser definida como a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo. No sentido fisiológico a germinação é definida como uma sequência ordenada de eventos metabólicos que resulta no reinício do desenvolvimento do embrião originando uma plântula (Marcos Filho, 2005).

Entretanto, o teste de germinação pode não representar totalmente o comportamento das sementes. Em função disto, desenvolveu-se o conceito de vigor e, conseqüentemente, diversos

testes têm sido propostos para avaliar de forma mais precisa a qualidade fisiológica (Mcdonald Júnior, 1975). O conceito de vigor não deve ser caracterizado como um único processo fisiológico das sementes, em sua definição mais recente, o vigor é o conjunto de propriedades que determinam a atividade e o desempenho de lotes de sementes de germinação aceitável sob condições ambientais que não são ótimas para a espécie (ISTA, 2014).

A qualidade das sementes de espécies florestais pode ser afetada por fatores como a formação de sementes vazias, embriões mal formados e a ocorrência de ataque de patógenos, ou após a colheita durante o armazenamento (Gomes *et al.*, 2014).

Melhorar a qualidade das sementes envolve tratamentos, e dentre esses tratamentos o condicionamento fisiológico vem se destacando, por apresentar resultados satisfatórios no aumento da taxa e na uniformidade de germinação (Penido *et al.*, 2021).

2.2. Condicionamento fisiológico

A partir dos anos 1970, pesquisadores despertaram interesse em estudos sobre o metabolismo da germinação das sementes e entre esses estudos, os relatos de que sementes pré umedecidas germinariam mais rapidamente chamaram atenção (Marcos Filho, 2005).

Essa técnica foi denominada de condicionamento fisiológico, em que ocorre a hidratação controlada das sementes, facilitando processos metabólicos que são estimulados na fase inicial da germinação sem que ocorra a protrusão radicular. O condicionamento promove um reestabelecimento na qualidade das sementes além de benefícios como a uniformidade na emergência das plântulas, maior rapidez na germinação e a tolerância das sementes expostas as condições ambientais não favoráveis (Paparella *et al.*, 2015).

O condicionamento fisiológico influencia em alguns componentes da qualidade fisiológica, isso é observado devido a rápida germinação após esse tratamento. Marcos Filho (2015) relata que, o principal efeito desse processo é uniformidade da germinação, pois o condicionamento reduz a diferença entre sementes mais e menos vigorosas.

Existem vários métodos para a realização do condicionamento fisiológico, podendo-se destacar o osmocondicionamento, que consiste na hidratação das sementes em soluções de baixo potencial osmótico de solutos orgânicos e inorgânicos por determinados períodos de tempo (Heydecker *et al.*, 1997). Entretanto, para que um condicionamento adequado ocorra é preciso que as condições do meio de hidratação (temperatura e luz) sejam os indicados para a espécie, é necessário evitar a contaminação microbiana, e a taxa de secagem das sementes não deve ultrapassar o seu limite.

O período de condicionamento é determinado em função da espécie, do agente osmótico utilizado e da temperatura. Compreender como é o período de cada fase durante a curva de embebição da espécie é necessário para a determinação desse tempo. A germinação pode ser dividida em três fases: embebição, reativação do metabolismo e a protusão radicular (Nonogaki *et al.*, 2010).

Assim, o tempo em que a semente permanece sob efeito da solução condicionante deve promover a embebição sem que ocorra a protusão da radícula, mas garantindo o seu efeito. Períodos de condicionamento muito curtos podem não permitir que o tratamento tenha o sucesso necessário, em contrapartida os períodos de condicionamento muito longos podem reduzir o vigor das sementes (Nascimento *et al.*, 2009).

Como solução condicionante, a literatura cita o uso de substâncias tais como o nitroprussiato de sódio (SNP) (Oliveira *et al.*, 2021), ácido giberélico (GA₃) (Wang *et al.*, 2021), nitrato de potássio (KNO₃) (Mahmood *et al.*, 2024) e o extrato aquoso de fumaça (EAF) (Ofoe *et al.*, 2022).

O uso de reguladores de crescimento como a ácido giberélico utilizado durante a fase de embebição pode proporcionar melhor crescimento das plântulas, potencializando a velocidade de emergência, garantido melhor qualidade das mesmas (Lopes *et al.*, 2008). A giberelina tem papel chave na germinação de sementes, pois atua diretamente no alongamento, divisão celular, na permeabilidade da membrana celular, na atividade enzimática, na variação em potencial osmótico e na mobilização de açúcares.

A giberelina está envolvida na superação da dormência fisiológica e também no controle de hidrólise de reservas. Durante o condicionamento em solução de ácido giberélico estimula a alfa-amilase e outras enzimas tais como as proteases, hidrolases, responsáveis por promover a hidrólise de reservas (Mitchell *et al.*, 2018).

A utilização de sais de nitrato de potássio em condicionamento fisiológico apresenta benefícios como fonte adicional de potássio e nitrogênio durante a germinação das sementes (Reis *et al.* 2013), a atuação do nitrato ocorre quando o mesmo é reduzido a nitrito, onde nesse processo reoxida as moléculas de NAD(P)H, tornando-as disponíveis, essa disponibilidade estimula a rota das pentoses-fosfato e a via do ácido chiquímico, que são responsáveis na produção de compostos fundamentais do metabolismo das sementes durante o processo de germinação (Nawaz *et al.*, 2017). Outro fator importante no uso do nitrato de potássio como agente condicionante, são os íons de K⁺ que ficam presentes no conteúdo celular, estes íons atuam como cofatores em numerosos sistemas enzimáticos e a sua absorção pela semente favorece a germinação (Nawaz *et al.*, 2017).

O nitroprussiato de sódio serve como fonte de óxido nítrico (ON). Esse óxido é relatado por Kaiser *et al.*, (2016) como responsável pelo aumento do percentual de germinação das sementes e aceleração desse processo. O óxido nítrico é capaz de reduzir os efeitos do armazenamento e aumentar a tolerância das sementes a estresse bióticos e abióticos (Pereira *et al.*, 2010; Pires *et al.*, 2016).

O nitroprussiato atua como inibidor na síntese de ácido abscísico (ABA), na liberação da dormência das sementes, ele reduz a sensibilidade das sementes ao ABA melhorando o índice de germinação (Zang *et al.*, 2023). O SNP, comumente usados como doador de NO, demonstrou aliviar o estresse por metais pesados durante a germinação (Arc *et al.*, 2013).

O ON liberado pelo SPN reage com tirosinas gerando o processo de nitratação ou com os resíduos de tiol pela oxidação com a presença de metais de transição, como ferro, cobre ou zinco (Pires *et al.*, 2016). A tolerância ao estresse oxidativo promovida pelo ON está relacionada à ativação de enzimas do sistema antioxidante, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) e peroxidase do ascorbato (APX), que atuam na neutralização das espécies reativas de oxigênio (EROs), minimizando seus efeitos nocivos (Silva *et al.*, 2015; Pires *et al.*, 2016).

O extrato aquoso de fumaça possui componente ativo identificado como butenolídio e a karrikinolide responsáveis por estimular a germinação das sementes, esses compostos atuam através da ação das rotas de giberelina em semente, tendo um efeito similar a mesma, apresentando também similaridade com as estrigolactonas, aumentando o potencial de germinação (Flematti *et al.*, 2004; Demir *et al.*, 2018).

Os ativos presentes na fumaça têm comportamento semelhante aos ativos responsáveis pelo regulamento e o crescimento das plantas, dessa forma os estudos com derivados de fumaça, apresentaram respostas hormonais, com evidências em muitas espécies e interagindo com ácido giberélicos, citocininas, ácido abscísico e etileno em sementes (Van Staden *et al.*, 2000).

Em estudo sobre o efeito do extrato de fumaça em sementes florestais, os autores comprovaram o efeito estimulador sobre a germinação das sementes, com um aumento significativo nas sementes de feijó, pau de balsa e caroba e sobre o tempo de germinação, isso quando comparado a sementes que não passaram por nenhum outro tipo de tratamento (Ferraz *et al.*, 2013).

2.3. Sistema antioxidante enzimático

As sementes estão sujeitas a diversas condições ambientais que podem induzir estresse, comprometendo seu metabolismo, crescimento e desenvolvimento. Quando expostas por

longos períodos a esses fatores adversos, sua viabilidade pode ser reduzida, culminando em deterioração e morte (Wang *et al.*, 2012). O estresse oxidativo ocorre quando há um desequilíbrio entre a produção e a remoção das espécies reativas de oxigênio (EROs) (Kim; Kwak, 2010).

Normalmente, as células vegetais mantêm um balanço dinâmico entre a geração e a eliminação dessas moléculas. No entanto, sob condições adversas, esse equilíbrio é comprometido, resultando no acúmulo excessivo de EROs. Em resposta a essa sobrecarga oxidativa, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa antioxidantes, capazes de neutralizar ou reduzir os danos causados por essas espécies reativas (Choudhary *et al.*, 2019).

Para reduzir os efeitos do estresse oxidativo, o sistema antioxidante enzimático exerce um papel fundamental na defesa celular, atuando na neutralização das espécies reativas de oxigênio (EROs) e na preservação da integridade celular. Esse mecanismo envolve enzimas essenciais, como a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT), que desempenham funções complementares na conversão e eliminação de radicais livres, minimizando os danos oxidativos às células vegetais (Rajput *et al.*, 2021).

A superóxido dismutase (SOD) é uma enzima fundamental no sistema antioxidante das plantas, sendo encontrada em organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos. Sua principal função é catalisar a dismutação do ânion superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2), reduzindo os danos oxidativos causados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs). Esse processo ocorre por meio de reações simultâneas de oxidação e redução no mesmo substrato, convertendo uma molécula de superóxido em produtos menos reativos, auxiliando na manutenção da homeostase celular (Rajput *et al.*, 2021).

A catalase (CAT), por sua vez, está predominantemente localizada nos peroxissomos e apresenta atividade limitada no citosol, mitocôndrias e cloroplastos. Sua principal função é converter o H_2O_2 em água (H_2O) e oxigênio molecular (O_2) sem a necessidade de cofatores redutores. Esse processo é importante em condições de alta concentração de H_2O_2 , prevenindo danos oxidativos e garantindo a integridade celular. Dessa forma, a CAT desempenha um papel essencial no mecanismo antioxidante celular e na regulação do estresse oxidativo nas plantas (Oshino *et al.*, 1975).

A enzima alfa-amilase desempenha um papel essencial na germinação de sementes, atuando na mobilização de reservas energéticas armazenadas no endosperma. Sua principal função é a hidrólise do amido, quebrando essa macromolécula em açúcares menores, como maltose e glicose, que são utilizados pelo embrião em desenvolvimento para sustentar o crescimento inicial da plântula (Damaris *et al.*, 2019).

Durante o processo germinativo, a alfa-amilase é ativada por fitohormônios, especialmente as giberelinas que sinalizam a síntese e secreção dessa enzima pelas células da camada de aleurona do endosperma. Os açúcares liberados pela ação da alfa-amilase são transportados para o embrião, fornecendo energia e substratos para processos metabólicos essenciais, como a divisão e alongação celular (Buchanan *et al.*, 2015; Padilha *et al.*, 2021)

2.4. Armazenamento de sementes após o condicionamento fisiológico

A longevidade das sementes é estudada devido à sua importância para a conservação de germoplasma, a produção agrícola e a restauração ecológica. Pesquisas têm revisado os principais mecanismos moleculares e fisiológicos envolvidos nesse processo, incluindo a integridade das membranas celulares, a eficiência dos sistemas antioxidantes e o equilíbrio entre os danos oxidativos e os mecanismos de reparo durante o armazenamento. Esses fatores são determinantes para a manutenção da viabilidade das sementes ao longo do tempo (Zhou *et al.*, 2020; Zinsmeister *et al.*, 2020).

Dentre as estratégias que influenciam a longevidade das sementes, o condicionamento fisiológico é estudado como um fator que pode modificar sua capacidade de armazenamento. Embora o condicionamento fisiológico seja eficaz para melhorar a germinação e o vigor inicial das plântulas, diversos estudos indicam que esse tratamento pode tanto favorecer quanto comprometer a viabilidade das sementes a longo prazo (Farooq *et al.*, 2019).

A perda dos efeitos do condicionamento ao longo do armazenamento, associada à redução da longevidade das sementes condicionadas, pode restringir a aplicabilidade dessas técnicas. As sementes preparadas estão em um estado fisiológico mais avançado em termos de processo de germinação em comparação com as sementes que não foram preparadas e, portanto, são mais suscetíveis à deterioração (Sano *et al.*, 2019).

Entre os fatores que influenciam o tempo de armazenamento das sementes pós condicionamento, a diferenças nos métodos e condições de preparação, (temperatura e duração) pode levar a efeitos diferentes na vida útil das sementes (Dutta *et al.*, 2019).

A velocidade de secagem das sementes aplicada ao final do processo, expondo as sementes a uma umidade relativa (UR) muito baixa (30–50%), desempenha um papel crucial na manutenção da viabilidade durante o armazenamento. No entanto, esse método pode induzir estresses fisiológicos, resultando em danos estruturais às membranas celulares e comprometendo a integridade das sementes. (Tu *et al.*, 2022). Estudos indicam que a secagem acelerada e o conteúdo de água presente nas sementes após a secagem podem reduzir significativamente a longevidade das sementes, limitando sua capacidade de armazenamento a

longo prazo (Farooq *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

ARC, E. *et al.* Nitric oxide implication in the control of seed dormancy and germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 346, 2013. DOI: 10.3389/fpls.2013.00346. PMID: 24065970. PMCID: PMC3777103.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009. 395p

BUCHANAN, B. B. *et al.* Biochemistry & molecular biology of plants. Rockville, MD: **American Society of Plant Physiologists**, 2015.

CARVALHO, N. M. *et al.* Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

CHOUDHARY, A. *et al.* ROS and oxidative burst: roots in plant development. **Plant Diversity**, v. 28, n. 42, p. 33–43, 2019.

CROSS, A. T. *et al.* Foreword: International standards for native seeds in ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S216–S218, 2020. DOI: 10.1111/rec.13173.

DAMARIS, R. N. *et al.* The rice alpha-amylase, conserved regulator of seed maturation and germination. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 2, p. 450, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20020450>.

DIYA, A. *et al.* Physiological, biochemical and molecular mechanisms of seed priming: a review. **Legume Research**, v. 47, n. 2, p. 159–166, 2024. DOI:10.18805/LR-4638

DEMIR, I. *et al.* Priming with smoke-derived karrikinolide enhances germination and transplant quality of immature and mature pepper seed lots. **South African Journal of Botany**, v. 115, p. 264–268, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.001>.

DUTTA, S. K. *et al.* Seaweed extract as natural priming agent for augmenting seed quality traits and yield in *Capsicum frutescens* L. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, p. 3803–3813, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01871-0>.

FAROOQ, M. *et al.* Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop and Pasture Science**, v. 70, p. 731–771, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP18604>.

FERRAZ, I. D. K. *et al.* Smoke-water effect on the germination of Amazonian tree species. **South African Journal of Botany**, v. 87, p. 122–128, 2013.

FLEMATTI, G. R. *et al.* A compound from smoke that promotes seed germination. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 977, 2004.

GOMES, K. B. P. *et al.* Internal morphology evaluation of *Terminalia argentea* (Combretaceae) seeds by X-ray test. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 752–759, 2014.

HEYDECKER, W. *et al.* Seed treatments to improve performance: survey and attempted prognosis. **Seed Science and Technology**, Zürich, n. 5, p. 353–425, 1997.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA. Seed vigour testing. In: INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING. Zurich: ISTA, 2014.

KAISER, I. S. *et al.* Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016

KIM, Y. H. *et al.* The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S. D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: **Science Publishers**, 2010. p. 129–150.

LOPES, H. M. *et al.* Effects of gibberellin and drying in osmotic conditioning on viability and vigor of papaya seeds (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 181–189, 2008.

MARCOS FILHO, J. Seed physiology of cultivated plants. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MAHMOOD UR REHMAN, M. *et al.* Seed priming with potassium nitrate alleviates the high temperature stress by modulating growth and antioxidant potential in carrot seeds and seedlings. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 606, 2024. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05292-1>.

McDONALD JR, M. B. A review and evaluation of seed vigor tests. Proceedings of the International Seed Testing Association, **Lansing**, v. 65, n. 1, p. 109–139, 1975.

MITCHELL, J. *et al.* Gibberellin response in the embryo epidermis regulates germination uniformity in response to seed priming. bioRxiv, Laurel Hollow, 436121, 2018. Doi.org/10.1101/436121

NASCIMENTO, W. M. *et al.* Osmotic priming of vegetable seeds. In: NASCIMENTO, W. M. (Ed.). Vegetable seed technology. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2009. p. 345–396.

NAWAZ, F. *et al.* Seed priming with KNO₃ mediates biochemical processes to inhibit lead toxicity in maize (*Zea mays* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 97, n. 14, p. 4780-4789, 2017.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; Bewley, J. D. Germination-Still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574-581, 2010.

OSHINO, NOZOMU *et al.* Optical measurement of the catalase-hydrogen peroxide intermediate (Compound I) in the liver of anaesthetized rats and its implication to hydrogen peroxide production in situ. **Biochemical Journal**, v. 146, n. 1, p. 67-77, 1975

OFOE, R. *et al.* Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Chemistry and Ecology**, v. 38, n. 7, p. 634-648,

2022. DOI: 10.1080/02757540.2022.2093508.

OLIVEIRA, T. F. *et al.* Protective action of priming agents on *Urochloa brizantha* seeds under water restriction and salinity conditions. **Journal of Seed Sciences**, v. 43, p. e202143010, 2021.

PAPARELLA, S. *et al.* Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 34, n. 8, p. 1281–1293, 2015.

PENIDO, A. C. *et al.* Effect of physiological priming on stored coffee seeds. **Journal of Seed Sciences**, v. 43, p. 1–13, 2021.

PEDRINI, S. *et al.* Seed collection and seed production areas. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S227–S237, 2020. DOI: 10.1111/rec.13190.

PEREIRA, B. L. C. *et al.* Influence of nitric oxide on the germination of *Plathymenia reticulata* Benth seeds with low vigor. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 629–636, 2010.

PIRES, R. *et al.* Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to cadmium stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 22–29, 2016.

RAJPUT, V. D. *et al.* Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. **Biology**, v. 10, n. 4, p. 267, 2021.

REIS, R. G. E. *et al.* Physiological quality of osmoprimed eggplant seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 526–532, 2013.

SANO, N.; SEO, M. Cell cycle inhibitors improve seed storability after priming treatments. **Journal of Plant Research**, v. 132, p. 263–271, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10265-018-01084-5>.

TU, K. *et al.* Effects of seed priming on vitality and preservation of pepper seeds. **Agriculture**, v. 12, p. 603, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050603>.

VAN STADEN, J. *et al.* Smoke as a germination cue. **Plant Species Biology**, Sapporo, v. 15, n. 2, p. 167–178, 2000.

WANG, L. *et al.* Comparative proteomics analysis reveals the mechanism of pre-harvest seed deterioration of soybean under high temperature and humidity stress. **Jornal of proteomics**, China, v. 75, p. 2109-2127, January. 2012

WANG, W. *et al.* The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 172, 2018.

WANG, Y. *et al.* Effects of gibberellin priming on seedling emergence and transcripts involved in mesocotyl elongation in rice under deep direct-seeding conditions. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 22, p. 1002–1021, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1631/jzus.B2100174>.

ZHANG, Y. *et al.* Nitric oxide regulates seed germination by integrating multiple signalling pathways. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 10, p. 9052, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.3390/ijms24109052>.

ZHOU, W. *et al.* A matter of life and death: molecular, physiological, and environmental regulation of seed longevity. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, p. 293–302, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1111/pce.13666>.

ZINSMEISTER, J. *et al.* Molecular and environmental factors regulating seed longevity. **Biochemical Journal**, v. 477, n. 2, p. 305–323, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1042/BCJ20190165>.

SEGUNDA PARTE

CAPÍTULO 1: Efeito do nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA₃), nitrato de potássio (KNO₃) e extrato aquoso de fumaça (EAF) no condicionamento fisiológico de sementes de espécies florestais.

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas impulsiona a busca por estratégias que melhorem a qualidade fisiológica das sementes florestais. O condicionamento fisiológico, utilizando moléculas sinalizadoras como nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA₃), nitrato de potássio (KNO₃) e extrato aquoso de fumaça (EAF), tem demonstrado potencial para melhorar a germinação e o crescimento inicial das plântulas. Este estudo teve como objetivo determinar a concentração ideal desses condicionantes para quatro espécies florestais: *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Sementes Florestais da UFLA. As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico em diferentes concentrações para cada espécie e avaliadas quanto à germinação e ao tempo médio de germinação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e os dados foram analisados por regressão polinomial. Os resultados indicaram que cada espécie respondeu de forma diferenciada aos condicionantes, evidenciando a necessidade de ajuste específico das concentrações. O SNP promoveu maior germinação em *G. ulmifolia* (1 µM), *S. multijuga* (0,1 µM) e *S. granulosoleprosum* e *M. urundeuva* (10 µM). O GA₃ teve efeito significativo em *G. ulmifolia* e *S. multijuga* (1,5 µM), enquanto *S. granulosoleprosum* e *M. urundeuva* apresentaram maiores percentuais germinativos em 2,5 µM e 2,0 µM, respectivamente. O KNO₃ melhorou a germinação nas concentrações de 1% para *G. ulmifolia* e *S. multijuga*, 2,5% para *S. granulosoleprosum* e 2% para *M. urundeuva*. O EAF obteve os melhores resultados em 0,4% (*G. ulmifolia*), 0,8% (*S. multijuga*), 2% (*S. granulosoleprosum*) e 1% (*M. urundeuva*). Conclui-se que a resposta ao condicionamento varia conforme a espécie e a concentração utilizada. A definição exata da dosagem dos condicionantes é essencial para melhorar a germinação.

Palavras chave: Germinação; tratamentos pré germinativos; recuperação de áreas degradadas

Effect of sodium nitroprusside (SNP), gibberellin (GA₃), potassium nitrate (KNO₃), and smoke-water extract (SWE) on the physiological conditioning of forest tree seeds

ABSTRACT

The recovery of degraded areas drives the search for strategies that improve the physiological quality of forest seeds. Physiological conditioning involving the use of signaling molecules such as sodium nitroprusside (SNP), gibberellic acid (GA₃), potassium nitrate (KNO₃), and aqueous smoke extract (ASE) has shown potential for improving germination and initial seedling growth. This study aimed to determine the optimal concentrations of these conditioners for four forest species: *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum*, and *Myracrodruon urundeuva*. The experiments were conducted at the Forest Seed Laboratory - UFLA. The seeds were subjected to physiological conditioning at different concentrations for each species and evaluated for germination and average germination time. The experimental design was completely randomized, and the data were analyzed via polynomial regression. The results indicated that each species responded differently to the conditions, highlighting the need for specific adjustments of concentrations. SNP promoted greater germination in *G. ulmifolia* (1 µM), *S. multijuga* (0.1 µM), *S. granulosoleprosum* and *M. urundeuva* (10 µM). GA₃ had a significant effect on *G. ulmifolia* and *S. multijuga* (1.5 µM), whereas *S. granulosoleprosum* and *M. urundeuva* presented relatively high germination percentages at 2.5 µM and 2.0 µM, respectively. KNO₃ improved germination at concentrations of 1% for *G. ulmifolia* and *S. multijuga*, 2.5% for *S. granulosoleprosum*, and 2% for *M. urundeuva*. The ASE obtained the best results at 0.4% (*G. ulmifolia*), 0.8% (*S. multijuga*), 2% (*S. granulosoleprosum*), and 1% (*M. urundeuva*). It is concluded that the response to conditioning varies according to the species and concentration used. The exact definition of the dosage of conditioners is essential to improve germination.

Keywords: Germination; pregermination treatments; recovery of degraded areas

1. INTRODUÇÃO

A demanda por recuperação de áreas degradadas no Brasil tem intensificado a necessidade de insumos de alta qualidade, entre eles, as sementes florestais, que desempenham um papel estratégico na recuperação de áreas. As sementes constituem a base biológica para a produção de mudas em viveiros florestais voltados à recomposição de ecossistemas nativos, sendo determinantes para o sucesso do processo de recuperação, portanto é necessário o uso de sementes com alta qualidade fisiológica (Gomes *et al.*, 2022).

O uso de técnicas que visam aumentar o vigor das sementes, já são estudadas por diversos pesquisadores, e entre essas técnicas, o condicionamento fisiológico de sementes apresenta resultados positivos (Sarkar *et al.*, 2020; Rhaman *et al.*, 2022), o mesmo consiste em uma hidratação inicial controlada evitando a protrusão da radícula seguida de desidratação para retornar ao teor de água original e produzir um avanço nos processos relacionados à germinação em sementes (Sheferie *et al.*, 2023).

A aplicação de técnicas de condicionamento fisiológico, aliada ao uso de moléculas sinalizadoras, tem demonstrado efeitos positivos, uma vez que essas moléculas atuam na modulação do metabolismo vegetal. Estudos indicam que sua utilização contribui para a melhora dos processos germinativos, favorece o estabelecimento das plântulas e promove o crescimento inicial das mudas, resultando em melhor desempenho fisiológico e maior taxa de sobrevivência no campo (Khan *et al.*, 2023).

Como exemplos de moléculas sinalizadoras a literatura cita o uso de nitroprussiato de sódio (SNP) (Elshazoly *et al.*, 2024), ácido giberélico (GA_3) (Wang *et al.*, 2021), nitrato de potássio (KNO_3) (Tu *et al.*, 2022) e o extrato aquoso de fumaça (EAF) (Zirondi *et al.*, 2019). Entretanto, a eficácia do condicionamento de sementes depende de uma série de elementos e fatores, como as espécies condicionadas, a qualidade das sementes, os condicionantes utilizados e sua concentração (Hussain *et al.*, 2015).

A escolha da concentração de cada condicionante é um fator determinante para o sucesso do condicionamento fisiológico de sementes, influenciando diretamente a germinação. Doses insuficientes podem não promover os efeitos desejados na ativação metabólica das sementes, enquanto concentrações excessivas podem gerar toxicidade, inibir a germinação ou comprometer o crescimento inicial das mudas. Estudos demonstram que a resposta das sementes às diferentes dosagens varia conforme a espécie, a qualidade fisiológica inicial e as condições ambientais (Javed *et al.*, 2020).

Portanto, a determinar a o efeito e a dosagem ideal de cada condicionante, baseada em análises fisiológicas é essencial para maximizar os benefícios do tratamento, garantindo maior

porcentagem e velocidade de germinação, o que poderá aumentar a eficiência no uso das sementes para produção de mudas, na utilização em semeadura direta, contribuindo para projetos de recuperação ambiental.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do condicionamento utilizando soluções de nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA_3), nitrato de potássio (KNO_3) e extrato aquoso de fumaça (EAF) na germinação e vigor de sementes de espécies florestais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Os ensaios experimentais foram conduzidos no Laboratório de Sementes Florestais vinculado ao Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situada no estado de Minas Gerais, Brasil. Foram utilizadas sementes das seguintes espécies: *Senna multijuga*, *Guazuma ulmifolia* e *Solanum granulosoleprosum*, todas coletadas em 2016 na cidade de Lavras - MG, além de *Myracrodruon urundeuva*, cujas sementes foram coletadas na cidade de Porto Franco - MA, em 2020. Todas as sementes estavam armazenadas em câmara fria (6 a 8 °C e ~40% UR, em sacos de polietileno) no Laboratório de Sementes Florestais da UFLA.

2.2. Concentrações das soluções condicionantes.

As concentrações de SNP, KNO_3 , GA_3 e EAF para cada espécie estão listadas na tabela abaixo:

Tabela 1: Concentrações dos condicionantes SNP, KNO_3 , GA_3 e EAF para cada espécie.

Condicionantes	Espécies	Concentrações
Nitroprussiato de sódio (SNP)	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0; 0,01; 0,1; 1 e 10 μ M
	<i>Senna multijuga</i>	0; 0,01; 0,1; 1 e 10 μ M
	<i>Solanum granulosoleprosum</i>	0; 0,01; 0,1; 1; 10 e 15 μ M
	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0; 0,01; 0,1; 1; 10 e 15 μ M
Ácido giberélico (GA_3)	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0; 0,5; 1; 1,5 e 2 μ M
	<i>Senna multijuga</i>	0; 0,5; 1; 1,5 e 2 μ M
	<i>Solanum granulosoleprosum</i>	0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 μ M

Nitrato de potássio (KNO ₃)	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 μM
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0; 0,25; 0,5; 1 e 2 %p/v
	<i>Senna multijuga</i>	0; 0,25; 0,5; 1 e 2 %p/v
	<i>Solanum granulosoleprosum</i>	0; 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5 e 3 %p/v
	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 %p/v
Extrato aquoso de fumaça	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 % v/v
	<i>Senna multijuga</i>	0; 0,2; 0,4; 0,8; 1 e 1,5 % v/v
	<i>Solanum granulosoleprosum</i>	0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1; 2; 3 e 4 %v/v
	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1; 2 e 3 % v/v

Fonte: Da autora (2025).

2.3.Preparo das sementes e condicionamento fisiológico

Cada semente demandou um preparo diferentes antes do condicionamento, primeiramente foi determinado o conteúdo de água das sementes de cada lote pelo método da estufa 105±3°C por 24 horas, seguindo recomendação das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

As sementes de *Guazuma ulmifolia* foram submetidas à quebra de dormência antes dos testes. O procedimento consistiu em manter as sementes em *becker* contendo ácido sulfúrico 100% por 50 minutos, realizando-se a agitação manual com bastão de vidro. Após a escarificação química, as sementes foram lavadas em água corrente e desinfectadas em solução contendo detergente doméstico (5 gotas de detergente/100ml de água destilada) durante 5 minutos e, posteriormente lavadas em água corrente (BRASIL, 2013).

Sementes de *Senna multijuga* foram submetidas à quebra de dormência utilizando alicate para despontar o tegumento na lateral do terço superior da semente, na parte oposta a micrópila (BRASIL, 2013) e desinfectadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 2% por 3 minutos seguido por três enxagues em água corrente (BRASIL, 2013).

As sementes de *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva* foram desinfectadas em solução contendo detergente doméstico (5 gotas de detergente/100ml de água

destilada) e lavadas em água corrente (BRASIL, 2013).

Após a superação da dormência e desinfecção das sementes, estas foram condicionadas por 48 horas a 10 °C, na ausência de luz, em placas de Petri sobre folha papel de germinação umedecidas com 10mL de solução dos condicionantes (tabela 1). Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água destilada e submetidas à secagem em sala climatizada 20 °C, em recipiente contendo sílica gel (10%UR), até atingirem conteúdo de água próximo ao observado antes do condicionamento.

2.4. Germinação

Após o condicionamento e secagem, as sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga* e *Solanum granuloseprosum* foram dispostas em caixas *Gerbox* sobre duas folhas de papel de germinação umedecido com água destilada, em quatro repetições de 25 sementes cada. As caixas foram incubadas em câmara de germinação, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 25 °C para *Guazuma ulmifolia* e *Senna multijuga*, e temperatura alternada 20-30 °C para *Solanum granuloseprosum*. A germinação foi avaliada diariamente por 21 dias para *Guazuma ulmifolia*, 7 dias para a *Senna multijuga* e 30 dias para *Solanum granuloseprosum* contabilizando-se o número de sementes germinadas.

Sementes de *Myracrodruon urundeuva* foram dispostas em caixas tipo *Gerbox* contendo areia lavada e esterilizada, umedecida com água destilada, com quatro repetições de 25 sementes cada. As caixas foram incubadas em câmara de germinação com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 25 °C e a germinação foi avaliada diariamente por 25 dias contabilizando-se o número de sementes germinadas.

Ao final de cada tempo de germinação, foi realizado o cálculo da porcentagem de germinação (%G) e o tempo médio de germinação (TMG) pela equação proposta por Santana et al. (2004).

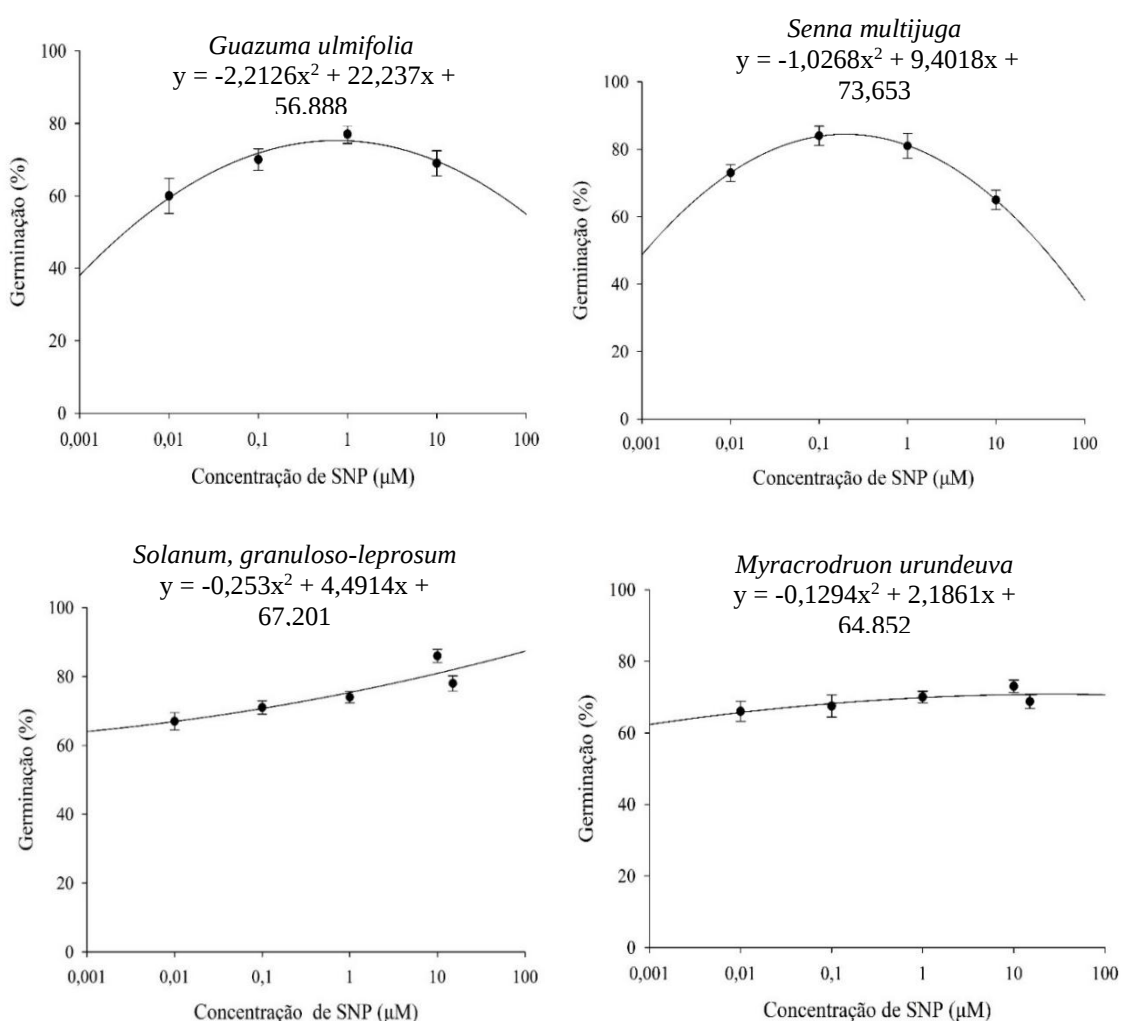
2.5. Análise de dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software* RStudio. Inicialmente os dados foram analisados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homoscedasticidade pelo teste de Bartlett. Os dados foram analisados através da regressão polinomial da variável germinação e do tempo médio de germinação em função da dosagem de cada condicionante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de nitroprussiato de sódio (SNP) influenciou positivamente a germinação das sementes avaliadas. As concentrações ideais obtidas pela análise de regressão foi de 1,0 μM para *Guazuma ulmifolia*, 0,1 μM para *Senna multijuga* e 10 μM para *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva* (Figura 1).

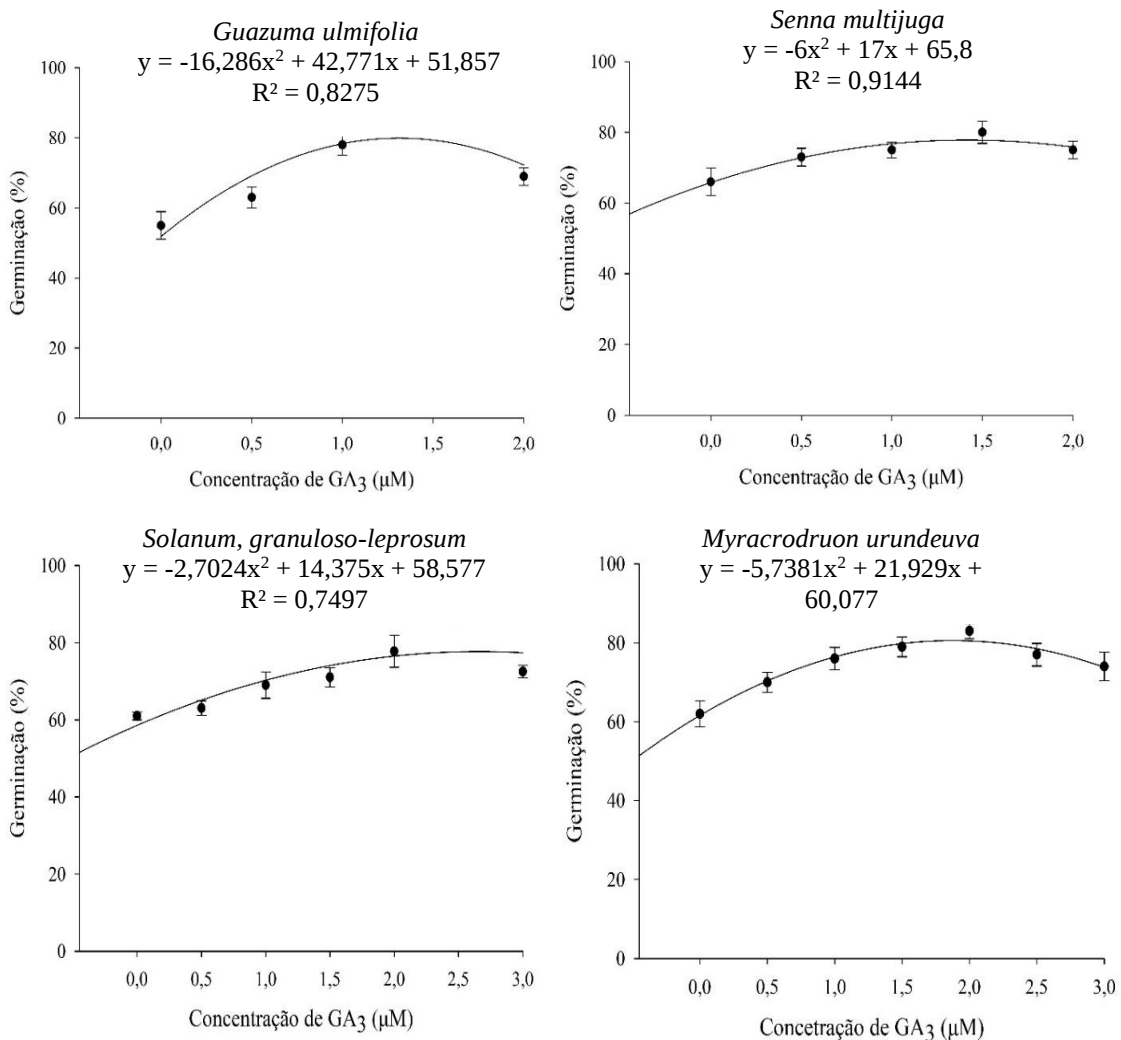
Figura 1 - Análise de regressão polinomial para concentrações de nitroprussiato de sódio (SNP) durante o condicionamento fisiológico em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*.



Fonte: Da autora (2025).

Da mesma forma que o observado para o SNP, a aplicação de GA_3 também influenciou positivamente a germinação das sementes, com a dosagem ideal variando entre as espécies avaliadas. Para *Guazuma ulmifolia* e *Senna multijuga* a concentração mais eficiente foi de 1,5 μM . Já para *Solanum granulosoleprosum*, a maior taxa de germinação ocorreu na dosagem de 2,5 μM , e *Myracrodruon urundeuva* maior germinação em 2,0 μM (Figura 2).

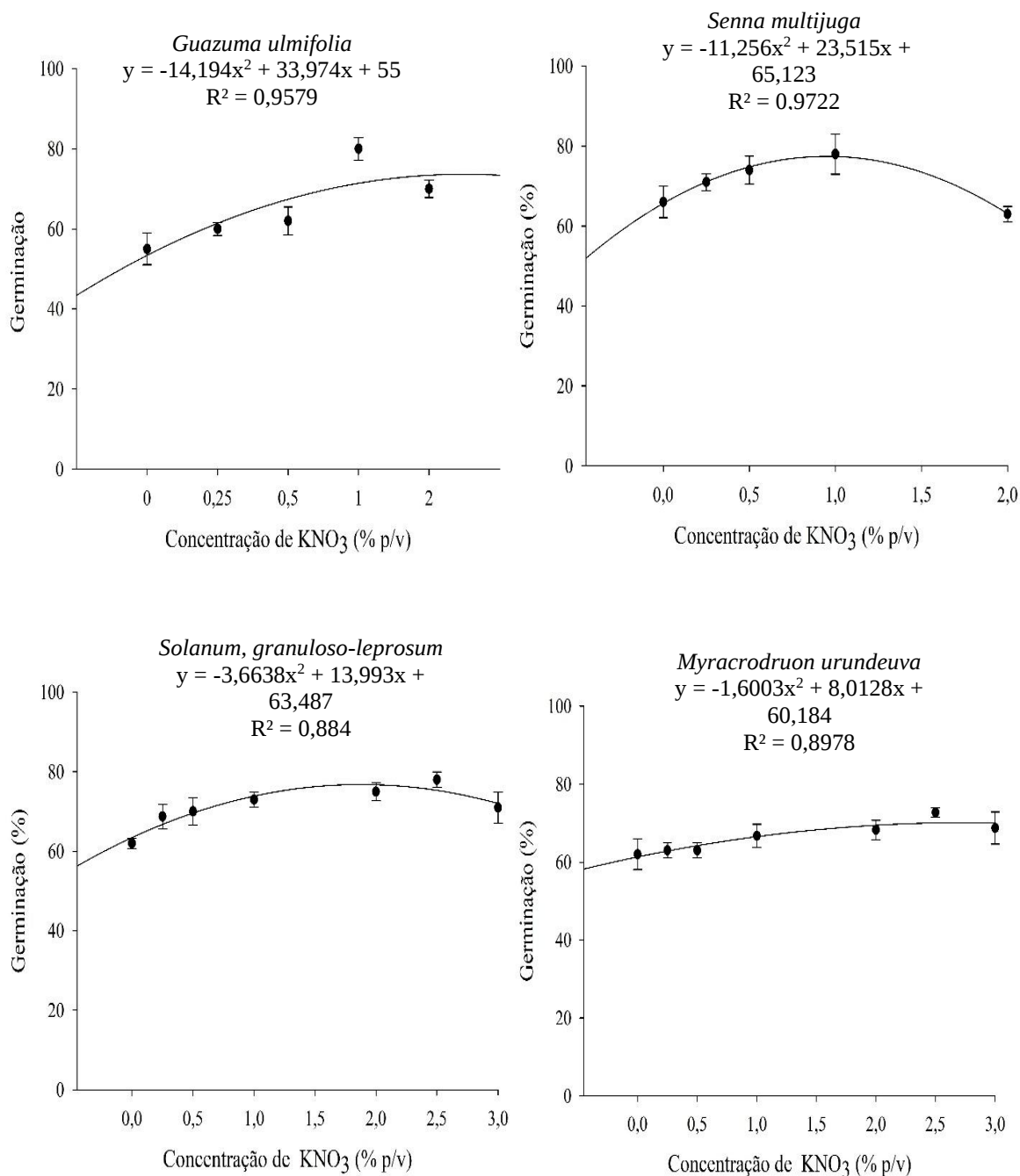
Figura 2 - Análise de regressão polinomial para concentrações de ácido giberélico (GA₃) em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*.



Fonte: Da autora (2025).

A resposta das sementes ao condicionamento com KNO₃ variou entre as espécies avaliadas. Para *Guazuma ulmifolia* e *Senna multijuga* o maior percentual de germinação foi observado na concentração de 1,0% p/v. Já para *Solanum granulosoleprosum* foi observado maior germinação quando as sementes foram condicionadas em solução contendo KNO₃ na concentração de 2,5% p/v, para sementes de *Myracrodruon urundeuva* a melhor dose foi de 2,0% p/v. Esses resultados reforçam a importância de estudos da dosagem de KNO₃ para cada espécie (Figura 3).

Figura 3- Análise de regressão polinomial para concentrações de nitrato de potássio (KNO_3) em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*.

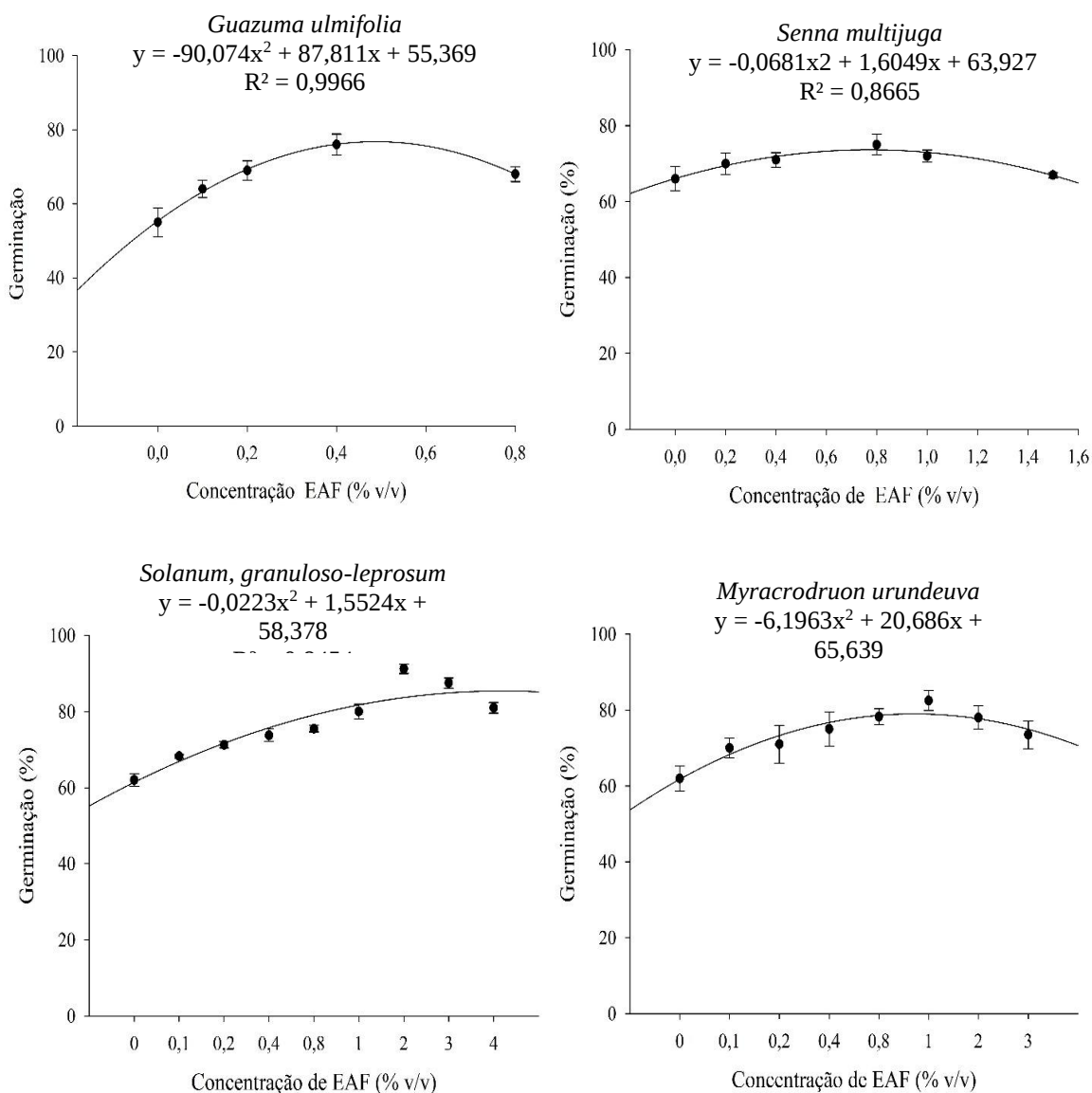


Fonte: Da autora (2025)

A resposta das sementes ao condicionamento utilizando extrato aquoso de fumaça (EAF) variou entre as espécies avaliadas. Sementes de *Guazuma ulmifolia* apresentaram melhor germinação na concentração de 0,4% (v/v), enquanto *Senna multijuga* atingiu sua maior taxa de germinação na concentração de 0,8%. Para sementes de *Solanum granulosoleprosum*, a

concentração ótima foi 2%, e *Myracrodruon urundeuva* obteve a maior germinação com o uso de solução contendo 1% de EAF (Figura 4).

Figura 4 - Análise de regressão polinomial para concentrações de extrato aquoso de fumaça (EAF) em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva*.



Fonte: Da autora (2025).

A germinação das sementes em relação às diferentes concentrações dos compostos usados durante o condicionamento variou entre espécie. O estudo revelou que cada uma das quatro espécies analisadas apresentou um comportamento distinto em relação às concentrações, evidenciando a influência das mesmas. De maneira geral, baixas concentrações não

demonstraram impacto significativo na germinação, enquanto doses mais altas das moléculas sinalizadoras inibiu a germinação, reforçando a necessidade de um ajuste preciso para melhorar o condicionamento fisiológico das sementes.

O nitroprussiato de sódio (SNP) é um doador de óxido nítrico cuja molécula de nitrogênio altamente reativa pode atuar tanto na sinalização celular quanto na indução de respostas oxidativas, dependendo da sua concentração. (Corpas e Barroso 2015; Jiao *et al.*, 2016). Estudos têm demonstrado que o óxido nítrico, como uma molécula de sinalização, desempenha um papel fundamental em processos como germinação (Wang *et al.*, 2015).

Nesse trabalho, que testou o SNP em sementes florestais nativas do Brasil, as dosagens de SNP variaram de 0 a 15 μM , tendo-se obtido efeito positivo para as espécies testadas dentro desse intervalo.

Em sementes de *Brassica juncea* tratadas com dosagens variando de 0 a 250 μM de SNP, verificou-se que na dose de 100 μM de SNP houve promoção da germinação (Rather *et al.*, 2020). Em sementes de *Arabidopsis* a concentração de SNP de 25 μM reduziu a dormência, aumentando a germinação das sementes, enquanto uma concentração de SNP acima de 250 μM inibiu a germinação (Bethke *et al.*, 2006). O condicionamento com SNP em sementes de trigo visando o combate ao estresse salino apresentou resultados positivos quando a concentração foi de 200 μM (Maslennikova *et al.*, 2023).

As giberelinas desempenham um papel essencial no crescimento e desenvolvimento vegetal, atuando na regulação da germinação das sementes, expansão foliar, alongamento do caule e indução da floração. As giberelinas, interagem com outros fitormônios, coordenando diversos processos metabólicos essenciais ao desenvolvimento vegetal (Iqbal *et al.*, 2013).

No presente estudo, as concentrações de ácido giberélico (GA_3) que proporcionaram melhores respostas fisiológicas foram 1,0 μM e 2,5 μM , com variações entre as espécies avaliadas. Esses resultados evidenciam que a eficácia do condicionamento fisiológico com GA_3 é dependente das características específicas de cada espécie, influenciando diretamente a germinação.

Em estudos com sementes de soja, o uso de GA_3 (0,28 μM) melhorou a germinação e o estabelecimento de mudas sob condições de estresse hídrico (Jaybhaye *et al.*, 2024). Em sementes de *Corymbia citriodora*, a aplicação de 15 μM de ácido giberélico (GA_3) resultou na maior taxa de germinação, destacando-se como a concentração mais eficiente entre as testadas (Souza *et al.*, 2019).

O nitrato de potássio (KNO_3) é amplamente utilizado no pré-tratamento de sementes devido à sua capacidade de melhorar a germinação, promover o crescimento inicial das

plântulas e melhorar o índice de estabelecimento, estimulando a atividade de enzimas como, desidrogenase e catalase, especialmente sob condições de estresse ambiental (Shahzad *et al.*, 2023).

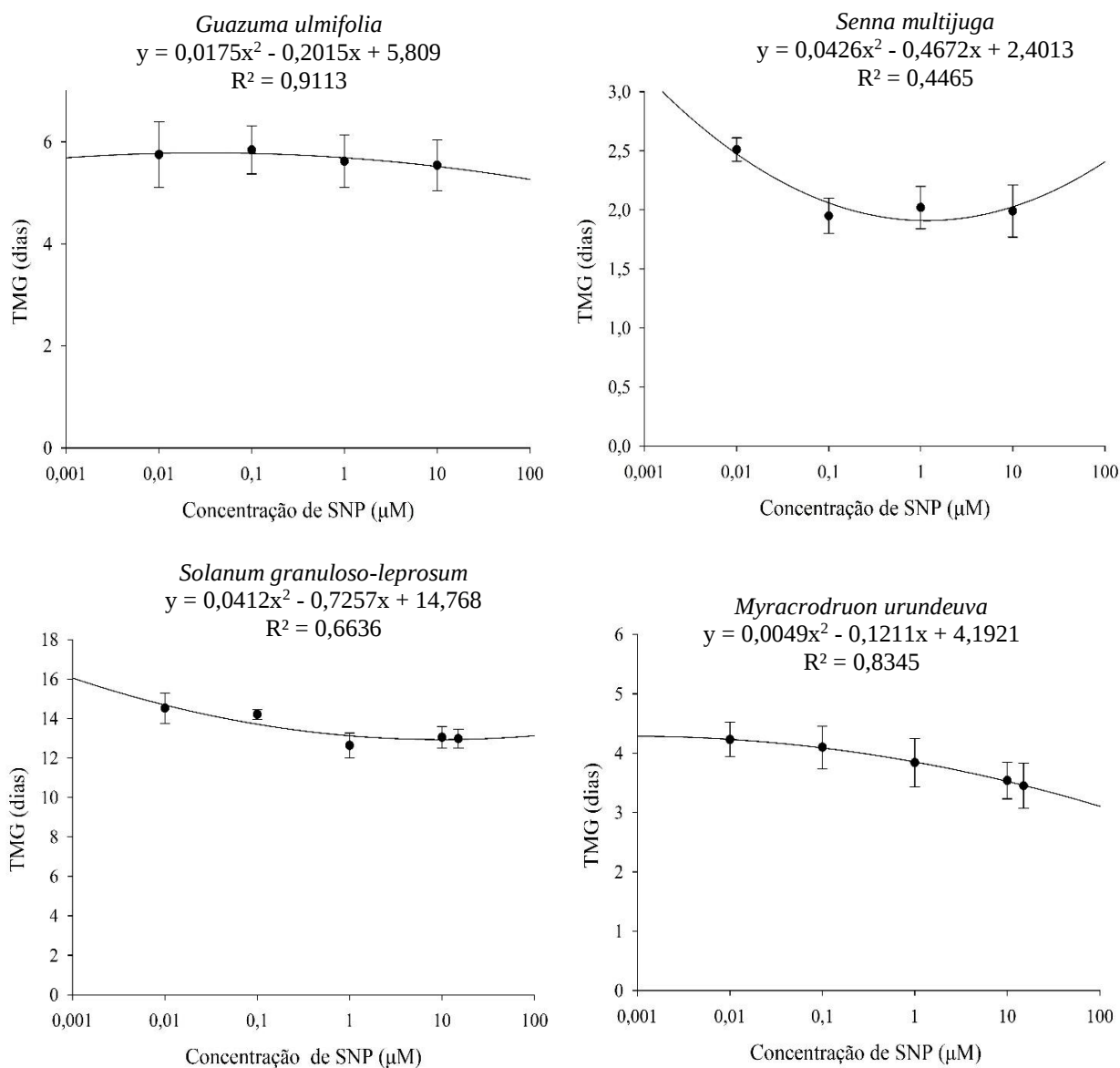
Diversos estudos apontam que a aplicação de KNO_3 em concentrações variando de 0,1% a 3% pode promover melhorias significativas na germinação e no crescimento de plântulas, com respostas variando conforme a espécie. De maneira geral, concentrações entre 0,3% e 1% foram as mais eficazes. Em *Silybum marianum*, a concentração de 1% proporcionou os melhores resultados (Ebadie *et al.*, 2016), enquanto em *Carthamus tinctorius* e *Kelussia odoratissima* a concentração de 0,3% foi a mais eficiente, promovendo maiores taxas germinativas e crescimento inicial (Ahmadi *et al.*, 2022; Ahmadi *et al.*, 2023). Esses estudos reforçam o potencial do KNO_3 como agente promotor da germinação, especialmente quando utilizado em baixas concentrações ajustadas à espécie-alvo.

No extrato aquoso de fumaça são encontrados diversos compostos associados ao aumento do potencial germinativo, dentre os quais os butenolideos (Zirondi *et al.*, 2019). Os principais efeitos do EAF no condicionamento de sementes são o aumento na porcentagem de germinação e ativação do sistema de defesa antioxidante contra o estresse oxidativo (Ofae *et al.*, 2022).

Em pesquisas com sementes de *Solanum lycopersicum*, foram testadas concentrações variando de 0 a 0,02%, tendo-se obtido melhor resposta na maior dosagem testada, obtendo-se maior germinação e crescimento de plântulas (Ofae *et al.*, 2022).

A relação entre a concentração de nitroprussiato de sódio (SNP) e o tempo médio de germinação (TMG) apresentou variações de acordo com as espécies. Os modelos de regressão polinomial de segunda ordem indicaram que, em *Guazuma ulmifolia* houve redução do TMG na concentração de 1,0 μM . Para *Senna multijuga*, a menor média de TMG foi observada na dose de 0,1 μM . Em *Solanum granulosoleprosum*, o TMG diminuiu até 10 μM , para *Myracrodruon urundeuva*, verificou-se uma redução contínua do TMG ao longo do aumento da concentração, sendo a menor média registrada em 15 μM concentração máxima utilizada (Figura 5).

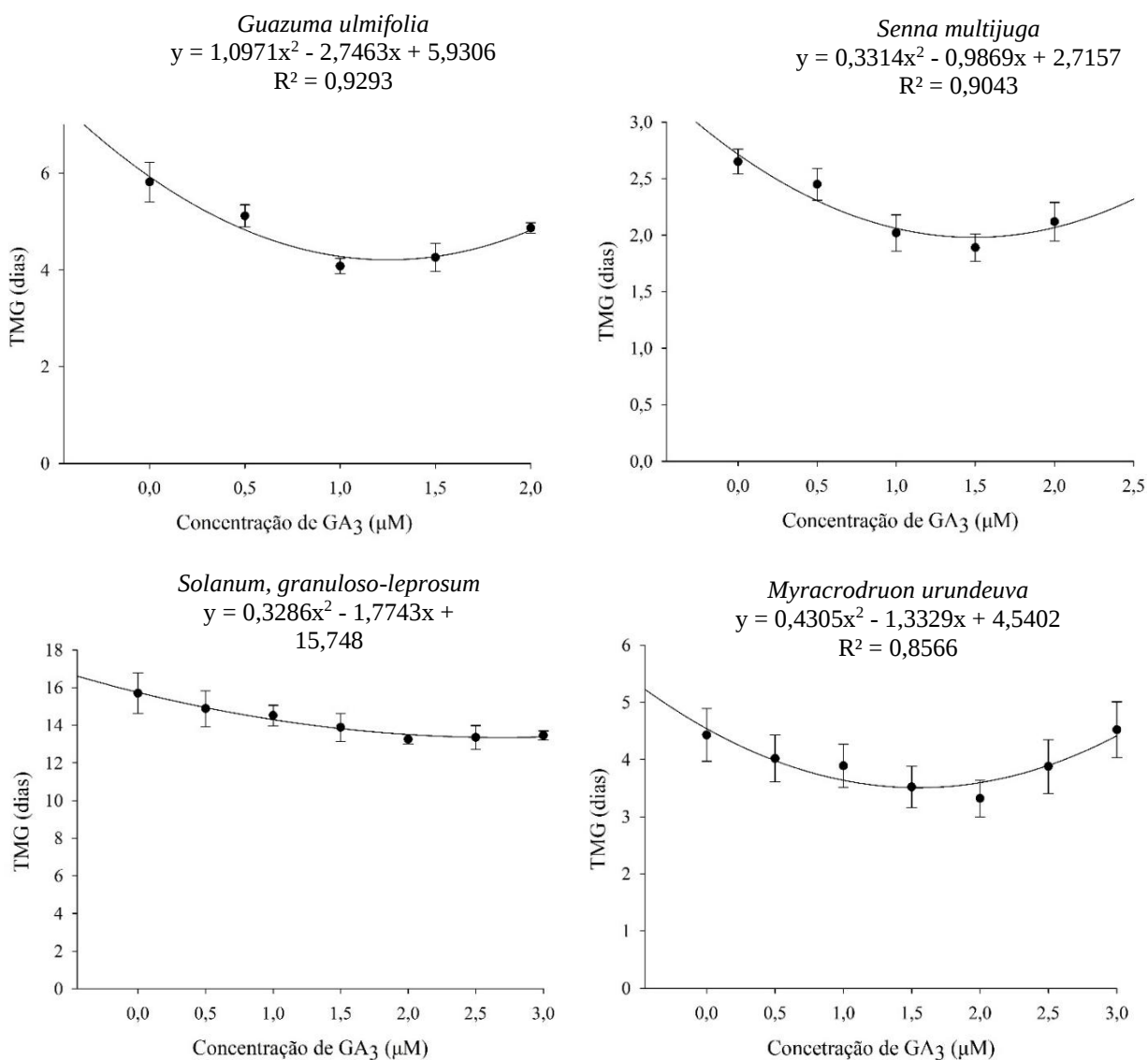
Figura 5 - Análise de regressão polinomial para concentrações de nitroprussiato de sódio (SNP) durante o condicionamento fisiológico em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva* em resposta ao tempo médio de germinação.



Fonte: Da autora (2025).

A aplicação de ácido giberélico (GA_3) influenciou o tempo médio de germinação (TMG) das sementes de forma distinta entre as espécies avaliadas. Em *Guazuma ulmifolia*, a menor média de TMG foi observada na concentração de 1,0 μM . Para *Senna multijuga*, o TMG foi reduzido até a concentração de 1,0 μM , com posterior elevação. Em *Solanum granuloso-leprosum*, o TMG apresentou queda acentuada até 2,0 μM . Já em *Myracrodruon urundeuva*, a menor média de TMG foi registrada em torno de 1,0 μM , com aumento gradual nas concentrações mais elevadas (Figura 6).

Figura 6 - Análise de regressão polinomial para concentrações de ácido giberélico (GA_3) durante o condicionamento fisiológico em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva* em resposta ao tempo médio de germinação.

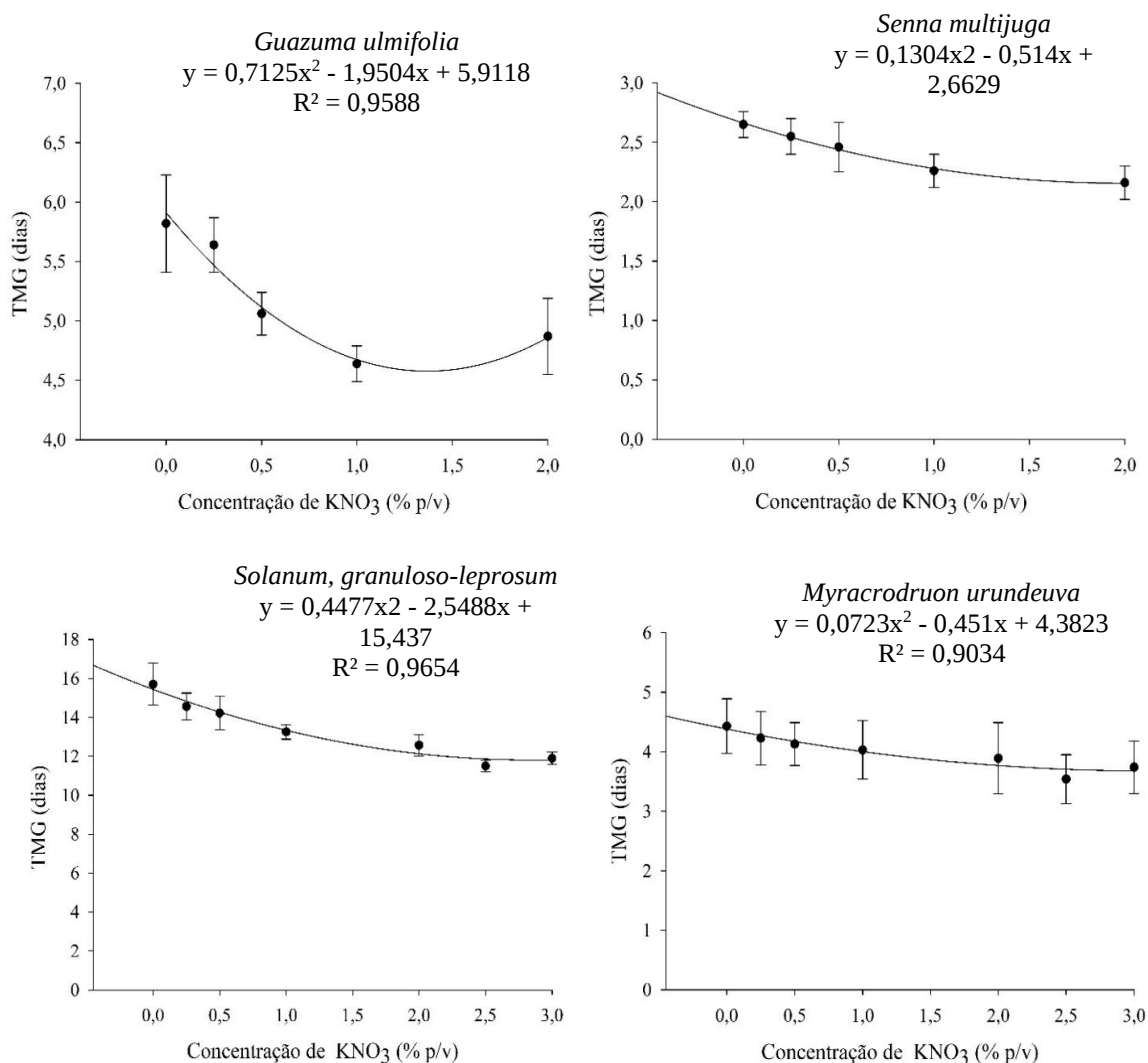


Fonte: Da autora (2025).

O tempo médio de germinação das sementes submetidas ao condicionamento com nitrato de potássio (KNO_3) variou entre as espécies estudadas. Em *Guazuma ulmifolia*, observou-se uma redução do TMG até a concentração de 1,0% (p/v). Para *Senna multijuga*, o TMG apresentou redução contínua à medida que a concentração aumentou, sendo o menor valor observado em 2,0% (p/v). Em *Solanum granulosoleprosum*, o TMG diminuiu de forma expressiva até a maior concentração testada (3,0% p/v). Já em *Myracrodruon urundeuva*,

observou-se uma redução gradual do TMG ao longo das concentrações, sendo o menor valor registrado em 2,5% (p/v) (Figura 7).

Figura 7 - Análise de regressão polinomial para concentrações de nitrato de potássio (KNO_3) durante o condicionamento fisiológico em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granulosoleprosum* e *Myracrodruon urundeuva* em resposta ao tempo médio de germinação.

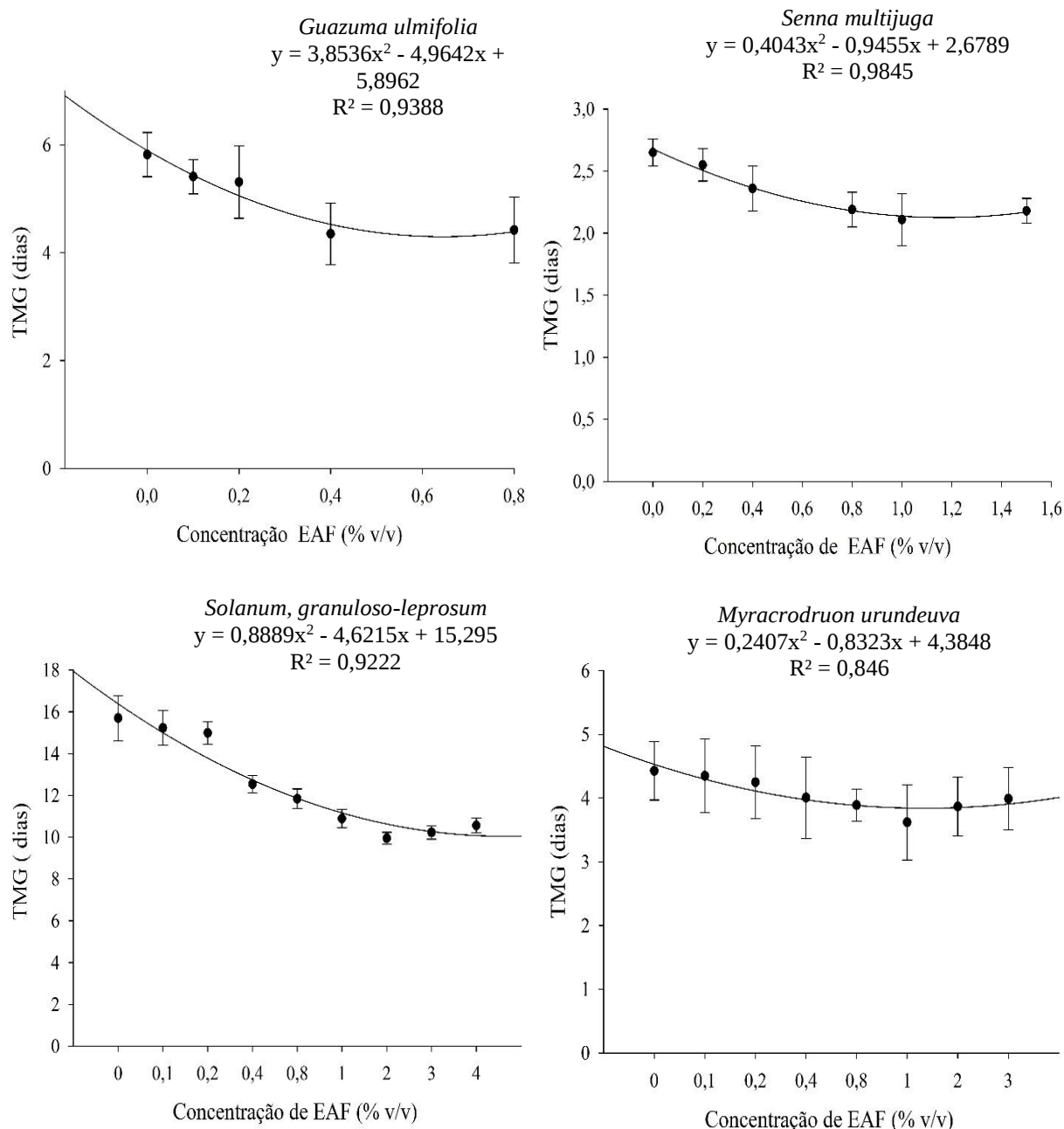


Fonte: Da autora (2025).

A aplicação do extrato aquoso de fumaça (EAF) influenciou o tempo médio de germinação (TMG) das espécies analisadas. Em *Guazuma ulmifolia*, observou-se redução do TMG até a concentração de 0,4% (v/v) para *Senna multijuga*, o TMG foi reduzido de forma contínua até 1,0% (v/v), em *Solanum granulosoleprosum* houve queda expressiva do TMG ao longo de todas as concentrações testadas, com o menor valor observado em 2% (v/v), e para

Myracrodruon urundeuva, o TMG apresentou decréscimo até 1,0% (v/v), mantendo-se estável nas concentrações seguintes (Figura 8).

Figura 8 - Análise de regressão polinomial para concentrações de extrato aquoso de fumaça (EAF) durante o condicionamento fisiológico em sementes de *Guazuma ulmifolia*, *Senna multijuga*, *Solanum granuloseprosum* e *Myracrodruon urundeuva* em resposta ao tempo médio de germinação.



Fonte: Da autora (2025).

Os resultados de tempo médio de germinação (TMG) apresentaram comportamento semelhante com os dados de germinação indicando que as concentrações dos tratamentos que resultaram em maiores taxas germinativas também promoveram uma germinação mais rápida.

Esse comportamento sugere que tais concentrações não apenas favorecem a ativação

dos processos fisiológicos necessários à germinação, como também reduzem o tempo médio de germinação das sementes, refletindo maior eficiência metabólica induzida pelo condicionamento fisiológico.

4. CONCLUSÕES

A avaliação das diferentes concentrações de cada agente condicionante revelou efeito sobre o condicionamento fisiológico das sementes, com respostas variando conforme a espécie analisada. De maneira geral, as concentrações que proporcionaram os maiores percentuais de germinação também resultaram em menores valores de tempo médio de germinação.

Para *Guazuma ulmifolia* as melhores dosagens para o condicionamento das sementes foram 1 μM de SNP; 1,5 μM de GA_3 ; 1% de KNO_3 e 0,4 % de EAF.

Para sementes de *Senna multijuga* as melhores dosagens para o condicionamento foram 0,1 μM de SNP; 1,5 μM de GA_3 ; 1% de KNO_3 e 0,8% de EAF.

Para sementes de *Solanum granulosoleprosum* as melhores doses foram 2,5 μM de SNP, 10 de GA_3 2,5% de KNO_3 e 2% de EAF.

Para sementes de *Myracrodruon urundeuva* as melhores doses foram 2,5 μM de SNP, 10 μM de GA_3 , 2,5% de KNO_3 1% de EAF.

REFERÊNCIAS

AHMADI, K *et al.* The effect of salicylic acid and potassium nitrate on germination characteristics, photosynthetic pigments and seedling proline seedlings of two safflower cultivars under salinity stress. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 15, n. 1, p. 247-257, 2022. DOI: 10.22077/escs.2020.3593.1882.

AHMADI, K *et al.* Efficacy of KNO_3 and priming duration for improving germination, seedling growth, and antioxidant enzymes of Keluss (*Kelussia odoratissima* Mozaff). **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 6, p. 1120-1128, 2023. ISSN 1872-2032. DOI: 10.1016/j.chnaes.2023.04.003.

BETHKE, P. C *et al.* Nitric oxide reduces seed dormancy in Arabidopsis. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 3, p. 517–526, fev. 2006. DOI: 10.1093/jxb/erj060.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2013. 98p.

CORPAS, F.; BARROSO, J. Functions of nitric oxide (NO) in roots during development and under adverse stress conditions. **Plants**, v. 4, n. 2, p. 240-252, 2015. DOI: 10.3390/plants4020240.

EBADIE, A *et al.* Effect of seed priming with KNO_3 on seedling vigour index in seed aged of *Silybum marianum*. **Journal of Plant Research** (Iranian Journal of Biology), v. 29, n. 3, p.

553-566, 2016.

EL-SHAZOLY, R. M *et al.* Individual or successive seed priming with nitric oxide and calcium toward enhancing salt tolerance of wheat crop through early ROS detoxification and activation of antioxidant defense. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 730, 2024. Doi.org/10.1186/s12870-024-05390-0.

GÓMEZ-MAQUEO, X *et al.* Different response to priming in *Ceiba aesculifolia* seeds is associated to the initial transcriptome landscape and to differential regulation of ABA and lipid metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 204, p. 105094, 2022. ISSN 0098-8472. Doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105094.

HUSSAIN, S *et al.* Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1-12, 2015.

IQBAL, M.; ASHRAF, M. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 86, p. 76-85, 2013. ISSN 0098-8472. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.06.002.

JAYBHAYE, S. G *et al.* GA₃ and BAP phytohormone seed priming enhances germination and PEG induced drought stress tolerance in soybean by triggering the expression of osmolytes, antioxidant enzymes and related genes at the early seedling growth stages. **Environmental and Experimental Botany**, v. 226, p. 105870, 2024. ISSN 0098-8472. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105870.

JAVED, T.; AFZAL, I. Impact of seed pelleting on germination potential, seedling growth and storage of tomato seed. **Acta Horticulturae**, v. 1273, p. 417-424, 2020. Doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1273.54.

JIAO, C *et al.* Nitric oxide mediates isoflavone accumulation and the antioxidant system enhancement in soybean sprouts. **Food Chemistry**, v. 204, p. 373-380, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.147.

KHAN, M *et al.* Nitric oxide acts as a key signaling molecule in plant development under stressful conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 5, p. 4782, 2023. DOI: 10.3390/ijms24054782.

MASLENNIKOVA, D *et al.* Seed treatment with sodium nitroprusside ensures a long-term physiological and protective effect on wheat under salinity. **Life**, v. 13, p. 1499, 2023. DOI: 10.3390/life13071499.

OFOE, R *et al.* Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Chemistry and Ecology**, v. 38, n. 7, p. 634-648, 2022. DOI: 10.1080/02757540.2022.2093508.

RATHER, B *et al.* Nitric oxide pre-treatment advances seed germination and alleviates copper-induced photosynthetic inhibition in Indian mustard. **Plants**, v. 9, p. 776, 2020. Doi.org/10.3390/plants9060776.

RHAMAN, M. S *et al.* Seed priming with nanoparticles: an emerging technique for improving plant growth, development, and abiotic stress tolerance. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 4047–4062, 2022. Doi.org/10.1007/s42729-022-01007-3

Santana, D. G.; Ranal, M. A. (2004). *Análise da germinação: um enfoque estatístico*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 247–248 p. ISBN 8523007911

SARKAR, P. K *et al.* Effect of priming treatments on seed germination and seedling growth in bamboo (*Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees). **Acta Ecologica Sinica**, v. 40, n. 2, p. 128-133, 2020. ISSN 1872-2032. DOI: 10.1016/j.chnaes.2018.11.004.

SHAHZAD, S *et al.* Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. **MDPI Seeds**, v. 4, n. 2, p. 123–137, 2023. DOI: 10.3390/seeds4020123

CAPITULO 2: Condicionamento fisiológico e armazenamento de sementes de *Guazuma ulmifolia*: efeitos na germinação, metabolismo antioxidante e viabilidade ao longo do tempo

O condicionamento fisiológico é uma estratégia utilizada para melhorar a germinação e o vigor inicial das sementes, sendo fundamental para espécies como *Guazuma ulmifolia*, amplamente empregada na restauração florestal. Assim, a aplicação de agentes condicionantes pode melhorar a germinação, resposta antioxidante e prolongar a viabilidade das sementes. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do condicionamento fisiológico sobre a germinação, emergência e metabolismo oxidativo de sementes de *G. ulmifolia*, além de investigar o impacto do armazenamento prolongado na manutenção da viabilidade das sementes pós-condicionamento. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos: controle, hidrocondicionamento, GA₃, SNP, KNO₃ e EAF. Foram avaliadas a germinação, emergência e outras variáveis fisiológicas além da atividade das enzimas antioxidantes (SOD e CAT), e dos níveis de MDA e H₂O₂, indicadores do estresse oxidativo. A viabilidade das sementes foi monitorada durante 12 meses de armazenamento. Os resultados mostraram que GA₃, SNP, KNO₃ e EAF promoveram maiores taxas de germinação e emergência, o uso de GA₃ reduziu o tempo necessário para o estabelecimento das plântulas. O aumento da atividade da SOD e a redução dos níveis de MDA indicaram menor degradação das membranas celulares e maior proteção contra o estresse oxidativo. O armazenamento pós condicionamento mostrou-se inviável, recomendando o uso das sementes após condiciona-las. Dessa forma, o condicionamento fisiológico demonstrou ser uma ferramenta eficiente para melhorar a germinação e a resposta antioxidante das sementes de *G. ulmifolia*, destacando-se como uma estratégia para a conservação e o uso eficiente das sementes em programas de restauração ecológica.

Palavras chave: Ácido giberélico; tratamentos pré-germinativos; longevidade de semente

Physiological priming and storage of *Guazuma ulmifolia* seeds: effects on germination, antioxidant metabolism, and viability over time

Physiological conditioning is a strategy used to improve seed germination and initial vigor and is essential for species such as *Guazuma ulmifolia*, which is widely used in forest restoration. Thus, the application of conditioning agents can improve germination and the antioxidant response and prolong seed viability. This study aimed to evaluate the effects of physiological conditioning on the germination, emergence, and oxidative metabolism of *G. ulmifolia* seeds and to investigate the impact of prolonged storage on the maintenance of seed viability after conditioning. The experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments: control, hydroconditioning, sodium nitroprusside (SNP), gibberellic acid (GA₃), potassium nitrate (KNO₃), and aqueous smoke extract (ASE). Germination, emergence, and other physiological variables, in addition to the activity of antioxidant enzymes (SOD and CAT) and the levels of MDA and H₂O₂, which are indicators of oxidative stress, were evaluated. Seed viability was monitored during 12 months of storage. The results revealed that GA₃, SNP, KNO₃, and EAF promoted relatively high germination and emergence rates and that the use of GA₃ reduced the time required for seedling establishment. The increase in SOD activity and the reduction in MDA levels indicated less degradation of cell membranes and greater protection against oxidative stress. Postconditioning storage has proven unfeasible, and the use of seeds after conditioning is recommended. Thus, physiological conditioning has proven to be an efficient tool for improving the germination and antioxidant response of *G. ulmifolia* seeds, standing out as a strategy for the conservation and efficient use of seeds in ecological restoration programs.

Keywords: Gibberellic acid; pregermination treatments; seed longevity

1. INTRODUÇÃO

O uso de sementes de espécies florestais é essencial para a restauração de ecossistemas degradados, desempenhando um papel fundamental na conservação ambiental. Assegurar a qualidade e a adequação das sementes às diferentes condições de restauração torna-se imprescindível, contribuindo diretamente para a eficácia e sustentabilidade dessas práticas (Freire *et al.*, 2022).

Guazuma ulmifolia Lam. (Malvaceae), popularmente conhecida como mutamba ou árvore guacimo, é uma espécie de ocorrência natural na América Latina (Pereira *et al.* 2020), destacando-se pela sua importância na recuperação de áreas degradadas. Seus frutos, amplamente consumidos pela fauna, facilitam a dispersão natural da espécie, enquanto seu rápido crescimento a torna valiosa para programas de restauração ecológica.

As sementes de *G. ulmifolia* apresentam perda de viabilidade ao longo do tempo, resultando em uma redução tanto no seu potencial germinativo quanto no vigor das plântulas (Paiva e Siqueira, 2008).

Estudos em tecnologia de sementes buscam estratégias para aumentar o potencial germinativo e melhorar o estabelecimento de plântulas no campo. O condicionamento fisiológico de sementes é utilizado para melhorar a qualidade e beneficiar o desempenho de lotes de sementes (Bonome *et al.*, 2017; Batista *et al.*, 2018). Diversos eventos fisiológicos associados à germinação são ativados e mantidos em um estado avançado, mesmo após a secagem, permitindo que a germinação subsequente ocorra de maneira mais rápida e uniforme (José *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2019).

O método de condicionamento e os condicionantes podem influenciar significativamente os resultados do tratamento, uma vez que estes podem variar conforme a espécie estudada (Fernandes *et al.*, 2021).

A água, além de ser essencial para os reparos celulares e a ativação dos mecanismos necessários à germinação, é estudada como agente condicionante de sementes (Yan, 2017). Além do hidrocondicionamento, há muitos relatos na literatura sobre a eficiência de moléculas de sinalização para aumentar a tolerância ao estresse em sementes.

O nitroprussiato de sódio (SNP) atua principalmente como doador de óxido nítrico (NO), que é uma molécula que induz altos estímulos enzimáticos (Pires *et al.*, 2016; Sadak *et al.*, 2022). Das várias moléculas sinalizadoras usadas para condicionamento de sementes, os reguladores de crescimento de plantas ganharam muita importância devido aos seus efeitos consistentes na germinação e no crescimento de várias espécies de plantas, entre elas o ácido

giberélico (Vishal *et al.*, 2018; Shani *et al.*, 2024).

O nitrato de potássio, como agente condicionante, libera íons K^+ , que atuam como cofatores enzimáticos, estimulam a germinação e fornecem potássio e nitrogênio, essenciais ao desenvolvimento inicial das plântulas (Ribeiro *et al.*, 2019). O extrato aquoso de fumaça age ativando as vias de sinalização das giberelinas, produzindo efeitos comparáveis a esses hormônios e compartilha características com as estrigolactonas, o que contribui para aumentar o potencial germinativo das sementes (Fichino *et al.*, 2016).

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2), embora desempenhe função sinalizadora em baixas concentrações, quando acumulado em níveis elevados desencadeia estresse oxidativo, promovendo a peroxidação lipídica e aumentando os níveis de malondialdeído (MDA), marcador associado à degradação das membranas celulares (Lu *et al.*, 2013). Para minimizar esses efeitos, sementes condicionadas ativam enzimas antioxidantes como SOD e CAT que auxiliam na eliminação do H_2O_2 e reduzem os danos celulares (Anjum *et al.*, 2015).

Após o condicionamento fisiológico, o tempo de armazenamento das sementes é vital para manter sua qualidade até a semeadura. Sementes condicionadas podem apresentar maior sensibilidade às condições de armazenamento. O desaparecimento dos efeitos do condicionamento durante o armazenamento e a longevidade reduzida das sementes condicionadas podem limitar a aplicação de técnicas de preparação (Tu *et al.*, 2022).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do condicionamento fisiológico na germinação e emergência das sementes e no crescimento das plântulas de *Guazuma ulmifolia* por meio de avaliações de características fisiológicas e expressão enzimática e determinar o período de armazenamento das sementes pós condicionamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condições de armazenamento

Todos os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Sementes Florestais e no Viveiro Florestal, ambos do Departamento de Ciências Florestais e no Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas no Departamento de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) localizada no estado de Minas Gerais. As sementes de *Guazuma ulmifolia*, coletadas em 2016, estavam armazenadas em câmara fria (6 - 8 °C e ~40% UR, em saco de polietileno).

2.2. Condicionamento fisiológico e condições experimentais

O experimento de condicionamento fisiológico de sementes de *Guazuma ulmifolia* foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por seis tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos testados foram: controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento, GA₃ (1,5 µM), SNP (1,0 µM), KNO₃ (1,0% p/v) e EAF (0,4%v/v). As concentrações utilizadas em cada condicionante foram selecionadas a partir de testes prévios. Para a obtenção do extrato aquoso de fumaça foi realizada a carbonização de folhas e galhos de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados 200 g de material vegetal, que foi colocado em um recipiente metálico com mangueiras acopladas a um frasco contendo água destilada. Após o início da combustão, a fumaça foi bombeada à força por uma bomba manual para impulsionar os gases da combustão para o fundo do frasco com água destilada até que todo o conteúdo fosse consumido pelo fogo. O extrato obtido foi mantido em frasco de vidro, no escuro a 10°C até a utilização. Após as devidas diluições, foram realizadas medições de pH usando um medidor de pHmetro de bancada, e em todas as concentrações, o pH variou de 6,6 a 7,1.

As sementes de *Guazuma ulmifolia* foram submetidas à quebra de dormência utilizando ácido sulfúrico a 100% por 50 minutos e lavadas em água corrente para a remoção dos resíduos do ácido. Posteriormente, as sementes foram desinfetadas em solução detergente com 5 gotas/100ml de água destilada (BRASIL, 2013) e lavadas em água corrente. Após a assepsia, as sementes foram condicionadas por 48 horas a 10 °C, na ausência de luz, em placas de Petri sobre papel de germinação. Após o condicionamento, as sementes foram lavadas com água destilada e submetidas à secagem (20 °C, 10%UR), em recipiente contendo sílica gel, até atingirem o conteúdo de água anterior ao condicionamento. As sementes foram dispostas em caixas gerbox com papel de germinação umedecido com água destilada, em quatro repetições de 25 sementes cada. As caixas foram incubadas em câmara de germinação, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 25 °C. A germinação foi avaliada diariamente contabilizando-se o número de sementes germinadas (protusão de radícula) e ao final de 21 dias o número de plântulas normais, anormais, sementes mortas e duras. Foi realizado o cálculo do tempo médio de germinação (TMG) pela equação proposta por Santana *et al.*, (2004).

2.3. Emergência de plântulas em condição de viveiro

As sementes condicionadas foram também testadas em condições de viveiro. Para isso, foi realizada a semeadura em sementeiras com dimensões de 80 x 200 cm, contendo como substrato areia lavada. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com irrigação aplicada duas vezes ao dia. A contagem da emergência das plântulas foi realizada diariamente, sempre no mesmo horário, considerando o momento em que os cotilédones

rompessem a superfície do solo. Após um período de 30 dias, as plântulas foram removidas das sementeiras para a avaliação do comprimento da parte aérea e do sistema radicular. Para tal, foram selecionadas aleatoriamente 40 plântulas por tratamento. O excesso de areia presente no sistema radicular foi cuidadosamente removido lavando-se a raiz e as plântulas foram dispostas em bandejas com papel umedecido, a fim de evitar a perda de turgor até o momento da avaliação. O comprimento das plantas foi medido utilizando software ImageJ.

2.4. Análises bioquímicas

Para a realização das análises bioquímicas, as sementes foram previamente condicionadas nos respectivos tratamentos por 48 horas e, posteriormente, submetidas à secagem em um recipiente contendo sílica gel, mantido a 20 °C e com umidade relativa controlada (10% UR). Após o processo de secagem, 100 mg de sementes tanto as amostras condicionadas quanto o controle foram maceradas em nitrogênio líquido. Para as análises de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), utilizou-se polivinilpolipirrolidona (PVPP) como agente adsorvente. As amostras foram armazenadas em ultrafreezer (-80 °C) até o momento das análises. Nesta fase, não foram realizadas análises bioquímicas para o hidrocondicionamento, uma vez que esse tratamento não apresentou diferenças significativas nas análises fisiológicas em comparação com o controle.

2.5. Peroxidação lipídica e quantificação de peróxido de hidrogênio

A peroxidação lipídica foi quantificada por meio da determinação dos níveis de malondialdeído (MDA), conforme descrito por Hodges *et al.*, (1999). Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de etanol a 80%, sendo posteriormente centrifugadas e o sobrenadante coletado. Este procedimento foi repetido três vezes, resultando em um volume final de 3 mL. A reação foi conduzida com 1 mL do extrato e 1 mL de uma solução composta por ácido tricloroacético (TCA) a 20%, ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,65% e butil-hidroxitolueno (BHT) a 0,01%. A peroxidação lipídica foi estimada pela leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 440, 532 e 600 nm. A quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguiu o protocolo de Velikova *et al.* (2000). Para isso, 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de TCA a 0,1%. Após centrifugação, o sobrenadante foi colocado para reação em tampão fosfato de potássio 10 mM (KH_2PO_4) pH 7,0 e iodeto de potássio (KI). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm, utilizando

uma curva padrão para a quantificação do H_2O_2 .

2.6. Enzimas do sistema antioxidante

A atividade do sistema antioxidante enzimático, incluindo superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), foi avaliada em sementes secas após o condicionamento fisiológico. Os extratos enzimáticos foram preparados conforme o protocolo descrito por Biemelt et al. (1998), onde 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido na presença de polivinilpirrolidona (PVPP), sendo adicionados 1,5 mL de tampão de extração composto por fosfato de potássio 400 mM (pH 7,8), EDTA 10 mM e ácido ascórbico 200 mM. A mistura foi centrifugada a 13.000 g por 10 minutos a 4 °C, e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação das atividades enzimáticas. A atividade da SOD foi determinada pela capacidade da enzima de inibir a fotoredução do nitroblue tetrazolium (NBT), conforme Giannopolitis e Ries (1977). As leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm. A atividade da CAT foi realizada de acordo com Havir e McHale (1987), baseada na redução da absorbância a 240 nm, monitorada a cada 15 segundos durante 3 minutos, devido à decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

2.7. Extração e quantificação de Alfa-amilase

Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido. A cada amostra foi adicionado 1 mL de água destilada gelada para a extração enzimática. A mistura foi mantida em banho de resfriamento a 4 °C por 10 minutos e em seguida foi centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante resultante foi utilizado como extrato bruto. A atividade da α -amilase foi quantificada utilizando uma versão modificada do método do ácido 3,5-dinitrosalicílico, conforme descrito por Miller (1959). O extrato enzimático bruto foi aquecido por 15 minutos a 70 °C. Em seguida, 1 mL do extrato foi misturado com 1 mL de amido solúvel a 1%, dissolvido em tampão acetato de sódio (pH 5,6). A mistura foi incubada por 15 minutos a 40 °C e, em seguida, fervida por 5 minutos na presença de 2 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico. A quantidade de açúcares redutores liberados foi determinada por espectrofotometria UV-visível a 540 nm, utilizando maltose como padrão de açúcares redutores.

2.8. Armazenamento de sementes condicionadas

Após o condicionamento e secagem, as sementes foram acondicionadas em tubos de

plástico e armazenadas em freezer a -20 °C. Foram preparadas 12 amostras para cada tratamento contendo 100 sementes em cada. Foi realizada a retirada mensal de uma amostra de cada tratamento para avaliação pelo teste de germinação, as sementes foram retiradas 24 horas antes e colocadas em condições de geladeira (5 °C) evitando choque de temperatura.

2.9. Análise dos dados

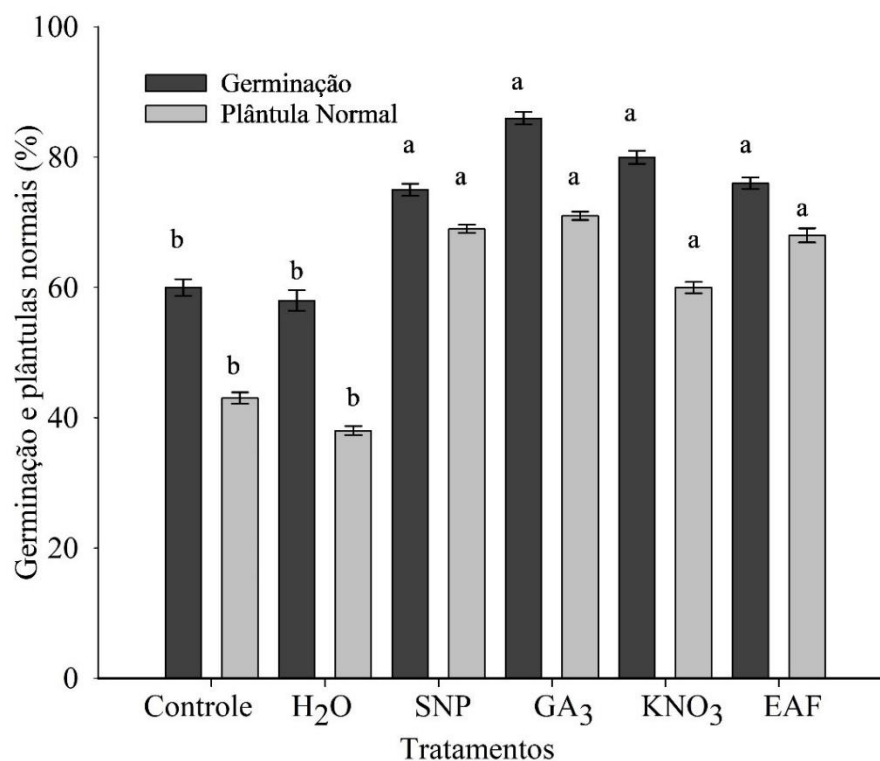
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, para análise de germinação em laboratório e análises bioquímicas, enquanto a emergência em viveiro foi conduzida em um delineamento em blocos casualizados. Os dados foram testados quanto à normalidade utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e homoscedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$), os dados foram submetidos à ANOVA e, foi selecionado o teste de médias de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote de *software* RStudio. Posteriormente, foi avaliada a correlação entre as variáveis fisiológicas e bioquímicas por meio da correlação de *Pearson* e os dados de armazenamento foram analisados através da regressão linear de cada variável em função do tempo de armazenamento, ambos utilizando o pacote de *software* RStudio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condicionamento fisiológico

Alterações na germinação foram observadas após o condicionamento das sementes em soluções de SNP, GA₃, KNO₃ e EAF, demonstrando um aumento significativo na germinação em comparação ao controle (não condicionadas) e hidrocondicionadas. A porcentagem de plântulas normais também apresentou diferenças significativas, com as sementes condicionadas em soluções condicionantes exibindo um maior número de plântulas com estruturas essenciais completas e sadias (Figura 1).

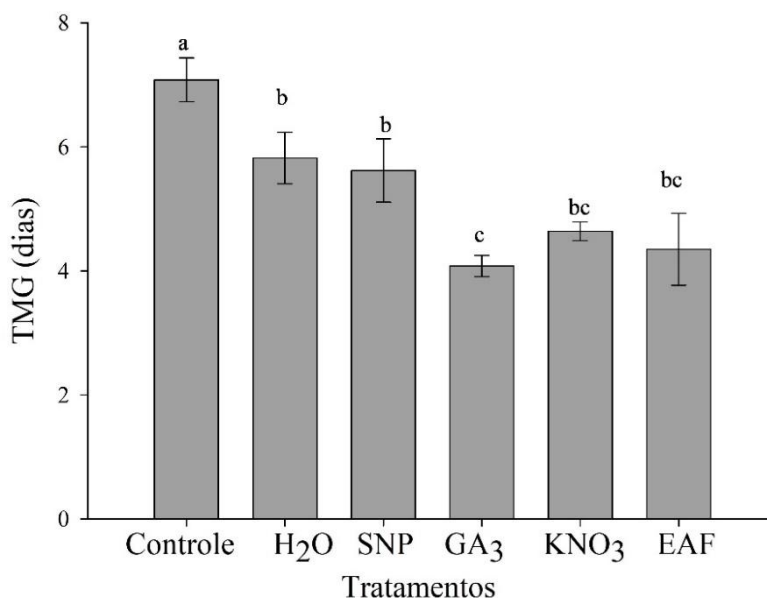
Figura 1- Porcentagem de germinação e plântulas normais de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (condicionamento em água), nitroprussiato de sódio 1,0 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

O condicionamento fisiológico com as soluções condicionantes influenciou significativamente o tempo médio de germinação das sementes de *Guazuma ulmifolia*. O GA₃ foi o tratamento mais eficaz, promovendo germinação mais rápida. KNO₃, EAF, SNP e H₂O também reduziram o TMG em relação ao controle (Figura 2).

Figura 2- Tempo médio de germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (condicionamento em água), nitroprussiato de sódio 1,0 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Durante o armazenamento, as sementes sofrem um processo gradual e contínuo de deterioração, resultando na diminuição do seu vigor (Sahu *et al.*, 2017). Com o início do processo de embebição, durante o condicionamento fisiológico, ocorre uma série de reparos em nível celular e estrutural que melhoram a germinação das sementes (Xu *et al.*, 2020).

O uso de GA₃, molécula envolvida no crescimento e desenvolvimento de plantas; também controlam a germinação de sementes, expansão foliar, alongamento do caule e floração (Magome *et al.*, 2004). Em estudos com sementes de *Arabidopsis*, foi verificado um maior índice de germinação em sementes condicionadas com GA₃ quando comparadas com o controle (Mitchell *et al.*, 2018).

O KNO₃ é um dos compostos osmóticos usados no condicionamento de sementes e melhora a germinação, o crescimento além de aumentar a atividade das enzimas alfa-amilase, desidrogenase e catalase (Ahmadi *et al.*, 2023).

Estudos com sementes de *Helianthus annuus*, indicaram que o condicionamento com GA₃ e KNO₃ melhora a germinação e o crescimento de mudas e protege as sementes da deterioração durante o envelhecimento (Kaia *et al.*, 2024). Em sementes de *Passiflora quadrangulares*, Marostega (2017) observou que o KNO₃ aumentou a germinação.

Sementes tratadas com SNP demonstraram eficácia na mitigação dos efeitos do envelhecimento (Pereira *et al.*, 2010). O óxido nítrico (NO) atua como uma molécula gasosa chave na regulação da germinação de sementes, regulando o metabolismo do ABA e as vias de síntese de GA (Zang *et al.*, 2023). Adicionalmente, o óxido nítrico tem mostrado potencial para aumentar a germinação e o vigor de semente (Ataíde *et al.*, 2015).

O extrato aquoso de fumaça contém vários compostos ativos, dentre estes os butenolídeos, os quais já foram identificados como um dos mais importantes por desempenharem um papel crucial na promoção da germinação de sementes. Esse composto atua por meio das vias de sinalização da giberelina, exibindo efeitos semelhantes a esses hormônios, além de apresentar similaridades com as estrigolactonas, potencializando assim a capacidade de germinação (Dermir *et al.*, 2018).

Em pesquisa realizada sobre os efeitos do extrato de fumaça em sementes florestais, foi verificado que esse extrato exerce um efeito positivo na germinação. Foi observado um aumento significativo nas taxas de germinação das sementes, além de uma redução no tempo necessário para a germinação, em comparação com sementes que não foram submetidas a nenhum tratamento adicional (Ferraz *et al.*, 2013).

Ao analisar a formação de plântulas normais, observou-se que os tratamentos com os condicionantes proporcionaram os melhores resultados. Isso indica que, além de favorecerem a germinação, eles também ajudam no desenvolvimento adequado das estruturas essenciais das plântulas.

Sementes com menor tempo médio de germinação (TMG) germinam em um intervalo de tempo mais curto, o que resulta em um processo mais uniforme e sincronizado. Isso favorece o estabelecimento inicial das plântulas, reduzindo a exposição a fatores adversos, como variações de temperatura, déficit hídrico e ataque de patógenos. Uma germinação mais rápida e homogênea pode melhorar a competitividade das plântulas no viveiro, aumentando suas chances de crescimento e sobrevivência.

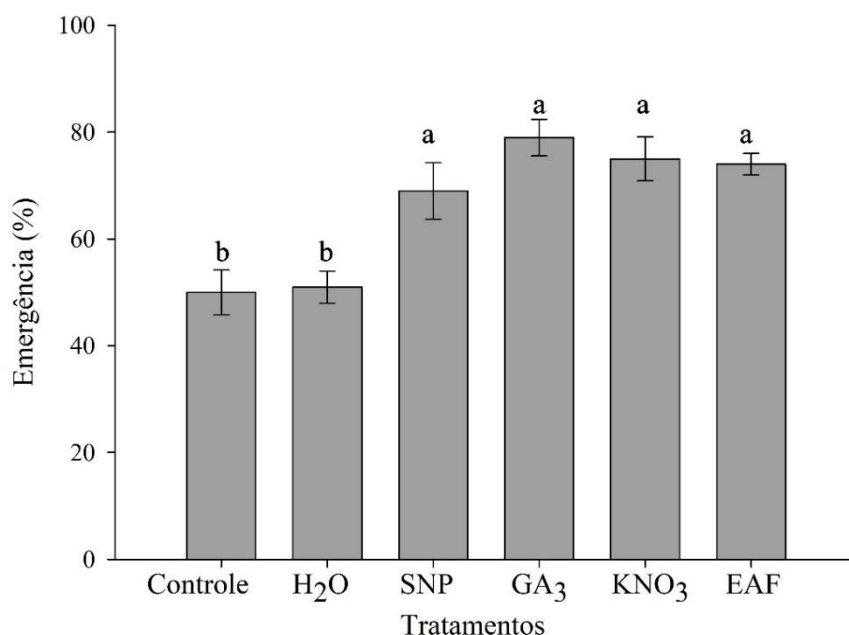
Os resultados do presente estudo são corroborados por um trabalho de Rau *et al.* (2021), onde as sementes de arará condicionadas com ácido giberélico (GA_3) apresentaram um índice de velocidade de germinação (IVG) superior em comparação ao controle, o mesmo observado por Pereira *et al.* (2022) em sementes de girassol.

3.2. Teste de emergência

Nos testes de emergência, realizados em sementeira, as sementes apresentaram resultados diferentes do controle e do hidrocondicionamento, quando submetidas aos tratamentos com GA_3 , SNP, EAF e KNO_3 , respectivamente (Figura 3).

Figura 3- Emergência em sementeira de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O), nitroprussiato de sódio $1,0 \mu M$ (SNP), ácido giberélico $1,5 \mu M$ (GA_3) nitrato de potássio

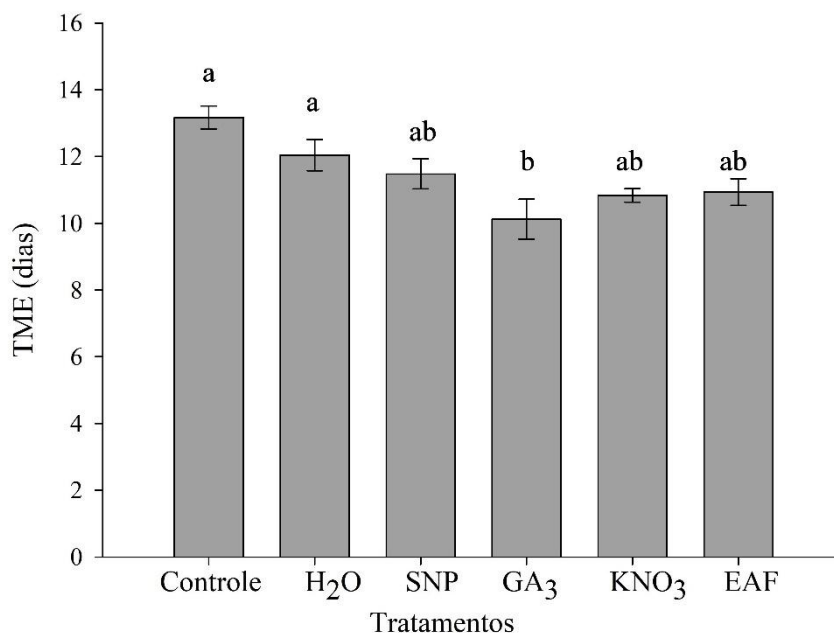
1,0% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Quanto ao tempo médio de emergência (TME) o uso de GA₃ destacou-se dos demais como o melhor tratamento. O controle e H₂O apresentaram os maiores valores, indicando emergência mais lenta (Figura 4).

Figura 4- Tempo médio de emergência de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 1,0 μM (SNP), ácido giberélico 1,5 μM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

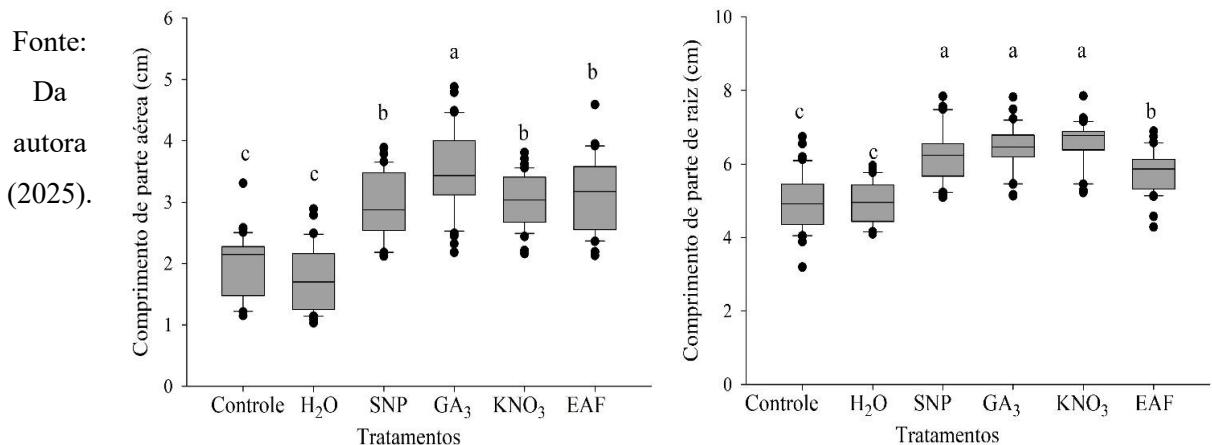
Em viveiro, as sementes frequentemente são expostas em ambiente diferente das condições ótimas de laboratório para o processo germinativo, resultando em uma porcentagem de plântulas emergidas que, muitas vezes, é inferior àquela observada em condições controladas.

A rápida emergência após a semeadura é extremamente benéfica, pois reduz o tempo de exposição a condições ambientais adversas, favorecendo um desenvolvimento mais ágil e melhorando a competitividade contra plantas invasoras (Decarli *et al.*, 2019).

Este resultado está de acordo com os estudos de Siadat *et al.* (2011), que indicaram que a imersão de sementes de milho em ácido giberélico foi eficaz para aumentar a emergência e o crescimento de plântulas de baixa qualidade.

Quanto ao crescimento das plântulas em viveiro, foi possível comprovar que o uso dos condicionantes possibilitou maior crescimento em parte aérea quando comparado com o controle e hidrocondicionamento (H₂O). Ácido giberélico (GA₃) foi o tratamento mais eficiente para o crescimento da parte aérea (Figura 5). Da mesma forma, o condicionamento das sementes em GA₃, SNP e KNO₃ resultou em maior comprimento de raízes comparado ao demais tratamentos (Figura 5).

Figura 5- Análise boxplot do crescimento da parte aérea (A) e radicular (B) de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 1,0 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.



O crescimento das plântulas em viveiro, com dados apresentados em comprimento de parte aérea e raízes evidencia que condicionamento fisiológico, além reduzir o tempo de germinação e uniformizar esse processo, acelera o crescimento das plântulas. (Bhanuprakash; Yogeesh, 2016).

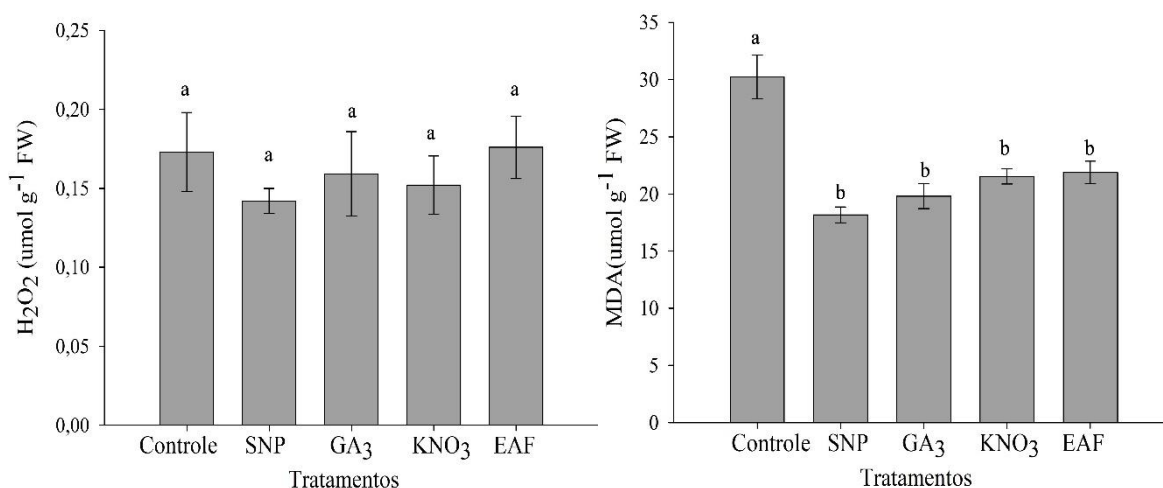
As giberelinas têm a função de acelerar o alongamento celular aumentando a expansão da parede celular e fazendo com que a água entre nas células (Ghannad *et al.*, 2022).

Outros pesquisadores também observaram um impacto positivo do condicionamento em KNO₃ e GA₃ em atributos de germinação e emergência e crescimento inicial em outras culturas sob condições normais e de estresse (Betheke *et al.*, 2006; Iqbal *et al.*, 2016; Dhillon *et al.*, 2021)

3.3. Análises Bioquímicas

Para os níveis de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) não foram observadas alterações significativas nos entre os tratamentos. Para malondialdeído (MDA) observou-se que as sementes do grupo controle apresentaram o maior teor em comparação aos tratamentos (condicionamento) (Figura 6).

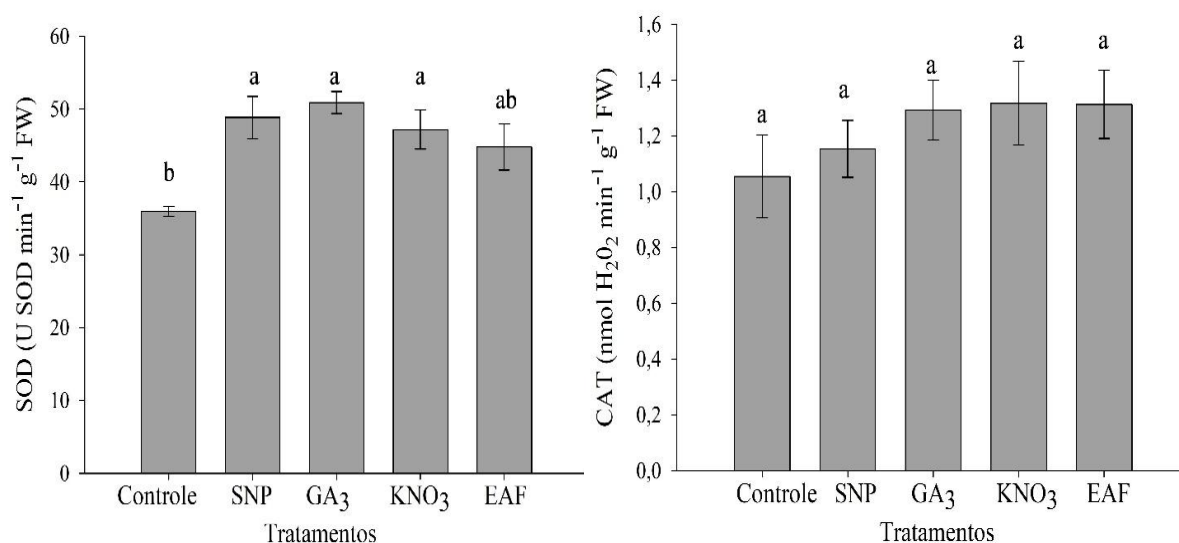
Figura 6- Teor de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio $1,0 \mu M$ (SNP), ácido giberélico $1,5 \mu M$ (GA_3) nitrato de potássio $1,0\%$ (KNO_3), extrato aquoso de fumaça $0,4\%$ (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) quando se analisou a atividade da superóxido dismutase. Verificou-se que o condicionamento das sementes de *G. ulmifolia* com GA_3 , KNO_3 , e SNP resultou em maior atividade enzimática, entretanto na atividade de catalase não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 7).

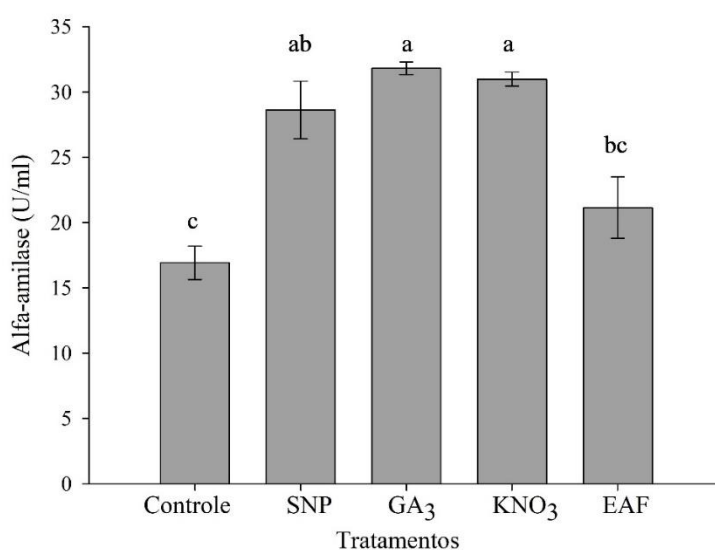
Figura 7- Atividade da superóxido dismutase (SOD) e atividade da catalase (CAT) em sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio $1,0 \mu M$ (SNP), ácido giberélico $1,5 \mu M$ (GA_3) nitrato de potássio $1,0\%$ (KNO_3), extrato aquoso de fumaça $0,4\%$ (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

A alfa-amilase é uma enzima envolvida na germinação de sementes. Neste estudo, a atividade dessa enzima apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, com maiores valores para sementes condicionadas em KNO₃ e GA₃ (Figura 8).

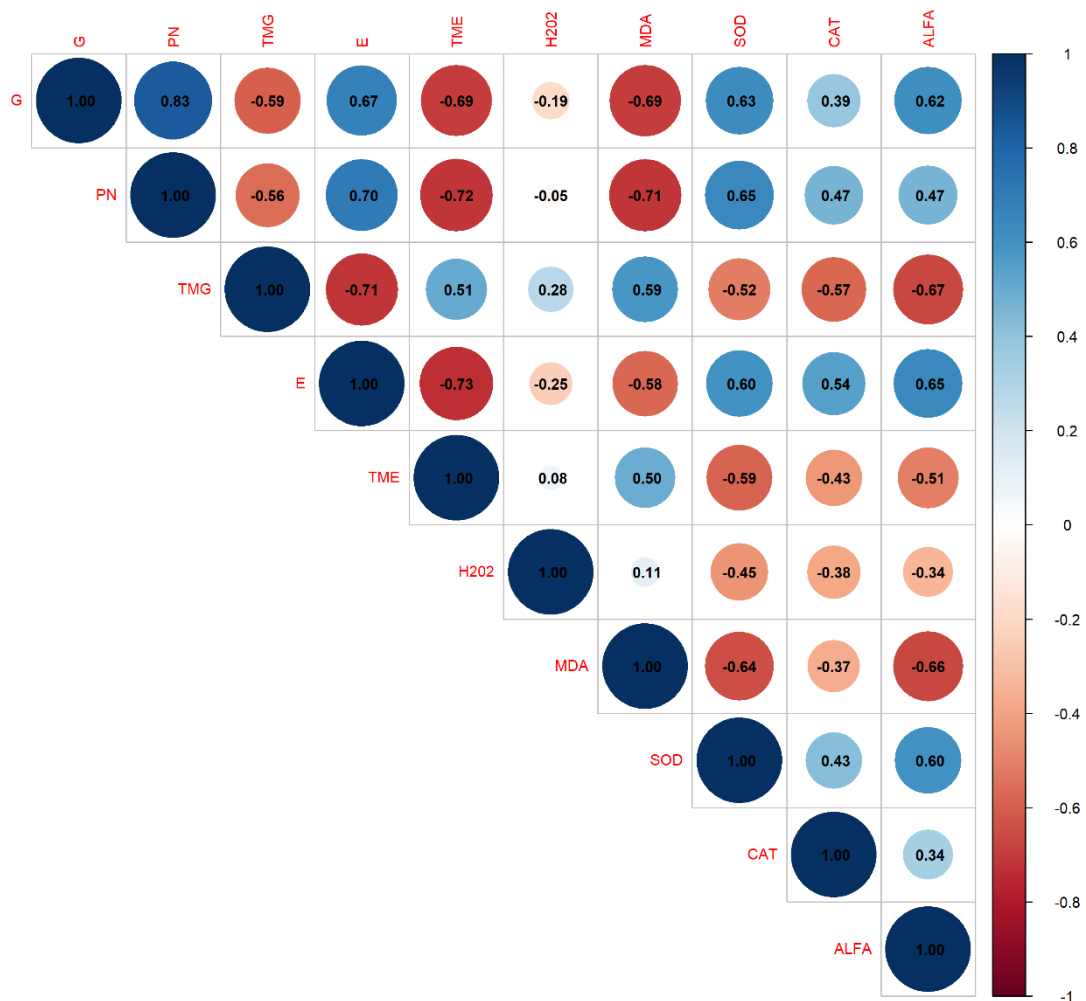
Figura 8- Atividade de alfa-amilase em sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 1,0 μM (SNP), ácido giberélico 1,5 μM (GA₃), nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as barras indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Na correlação de *Pearson* (Figura 9), observou-se a relação entre os dados fisiológicos e bioquímicos. A enzima SOD apresentou correlação positiva com a germinação ($r = 0,63$) e a emergência ($r = 0,60$), indicando sua influência favorável nesses processos. Por outro lado, o MDA mostrou correlação negativa com a germinação ($r = -0,69$), plântulas normais ($r = -0,71$) e emergência ($r = -0,58$), sugerindo que altos níveis desse composto estão associados a menor desempenho germinativo. Já a alfa-amilase demonstrou correlação positiva tanto com a germinação ($r = 0,62$) quanto com a emergência ($r = 0,65$), reforçando sua importância para o sucesso da germinação e do estabelecimento das plântulas.

Figura 9 - Análise de correlação de *Pearson* dos índices, fisiológicos e bioquímicos em sementes de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 1,0 μ M (SNP), ácido giberélico 1,5 μ M (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF).



G = germinação; PN = plântulas normais; TMG = tempo médio de germinação; E= emergência; TME= tempo médio de emergência; H2O2 = peróxido de hidrogênio; MDA = malondialdeído; SOD = superóxido dismutase; CAT = catalase; ALFA= Alfa-amilase

Fonte: Da autora (2025).

Estudos indicam que o MDA, como produto final da peroxidação lipídica, é considerado um indicador eficaz dos níveis de peroxidação e danos nas membranas. Esse resultado pode ser atribuído aos benefícios do condicionamento, que promovem mudanças morfológicas, fisiológicas e bioquímicas durante a embebição (Ayala *et al.*, 2015; Ebone *et al.*, 2019)

Assim, os métodos de condicionamento propostos mostraram-se eficazes na redução da peroxidação lipídica. Como observado na figura 9 ocorre uma correlação negativa significativa entre o MDA, a germinação ($r = -0,69$), plântulas normais ($r = -0,71$) e emergência ($r = -0,58$).

Estudos realizados com sementes de *Helianthus annuus* condicionadas com SNP revelaram que não houve variações significativas nos teores de H_2O_2 , os níveis de MDA foram superiores nas sementes não submetidas ao condicionamento, indicando maior peroxidação lipídica e dano celular (Pereira *et al.*, 2022). Em sementes de *Hordeum vulgare*, o condicionamento com GA_3 promoveu a redução nos teores de H_2O_2 e MDA, onde foi observado aumento da taxa de germinação e maior índice de velocidade de germinação (Hessini *et al.*, 2023).

A superóxido dismutase (SOD) desempenha um papel crucial na neutralização do estresse oxidativo, convertendo o radical superóxido em peróxido de hidrogênio, que é menos reativo, destacando-se na remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Das; Roychoudhury, 2014).

No presente estudo foi possível observar uma correlação negativa significativa entre os valores de SOD e MDA ($r = -0,60$), indicando que a enzima pode ter neutralizado a peroxidação lipídica. Também foi observada correlação positiva significativa entre os dados fisiológicos, germinação e emergência, com os dados bioquímicos da atividade de SOD germinação ($r = 0,63$) e emergência ($r = 0,60$).

Silva *et al.*, (2019) e Bastos *et al.*, (2023) observaram maior atividade da superóxido dismutase (SOD) em sementes de *Senna macranthera* tratadas com SNP e EAF, respectivamente, em comparação às não condicionadas. Em *Plathymenia reticulata* Benth., Pereira *et al.*, (2010) também verificaram maior atividade de SOD em sementes tratadas com KNO_3 e SNP.

A maior atividade de alfa-amilase em sementes condicionadas em GA_3 e KNO_3 está de acordo com o observado nas análises fisiológicas de germinação, emergência e TMG, o que também foi observado na correlação de *Pearson* entre a atividade enzimática com as variáveis germinação ($r = 0,62$) e emergência ($r = 0,65$) e correlação negativa significativa com o TMG ($r = -0,67$).

A aplicação de reguladores de crescimento, como o ácido giberélico e outros compostos que induzem a síntese de alfa-amilase, pode ser utilizada para melhorar a qualidade da semente e aumentar a taxa de germinação. Essa enzima atua na hidrólise do amido no endosperma, fornecendo a energia necessária para o desenvolvimento das plântulas (Liu *et al.*, 2018). Assim, essa enzima é crucial para o processo de germinação e sua atividade está diretamente associada à qualidade fisiológica das sementes. (Mitchell *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018; Liu Yang; Zhang, 2019).

3.4. Armazenamento de sementes condicionadas

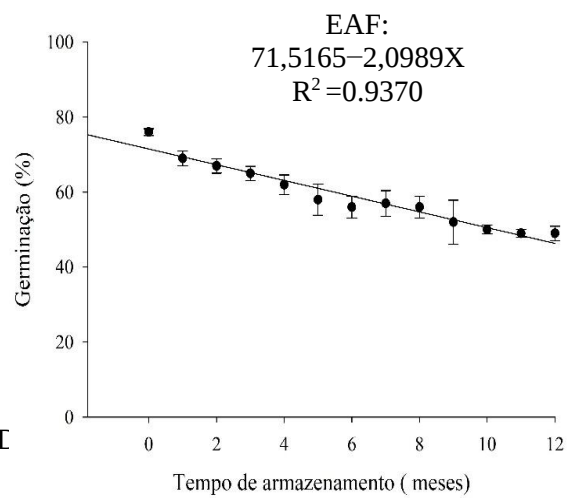
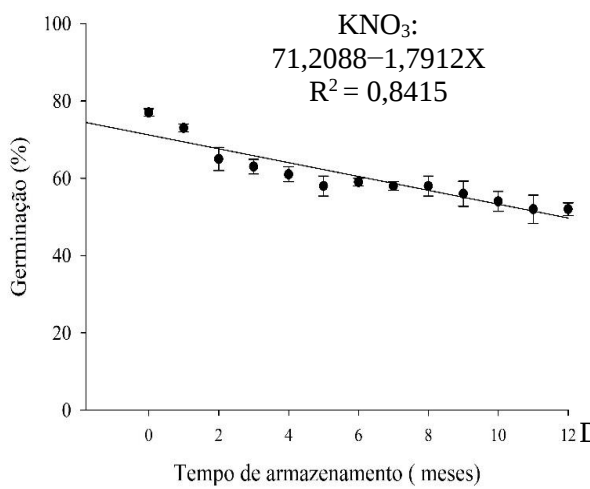
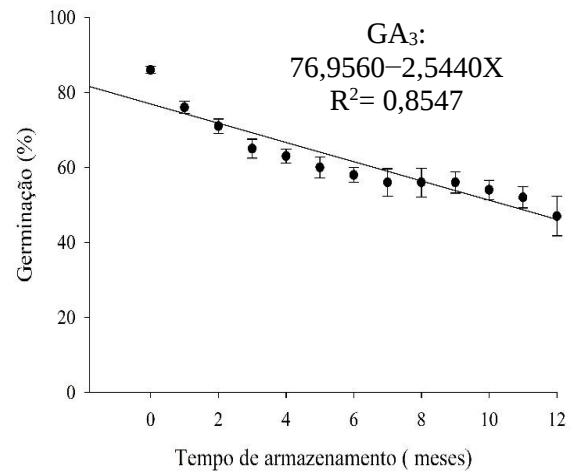
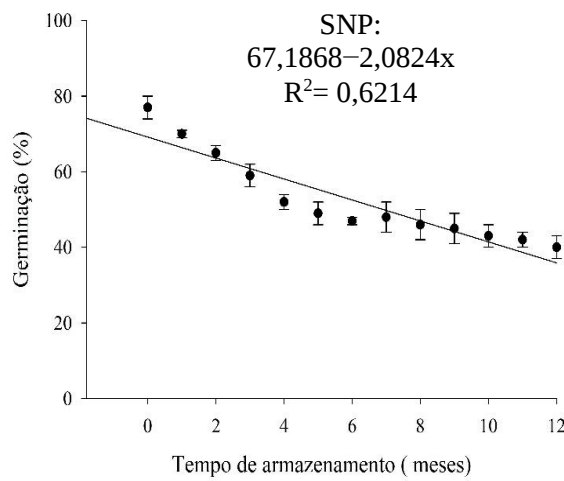
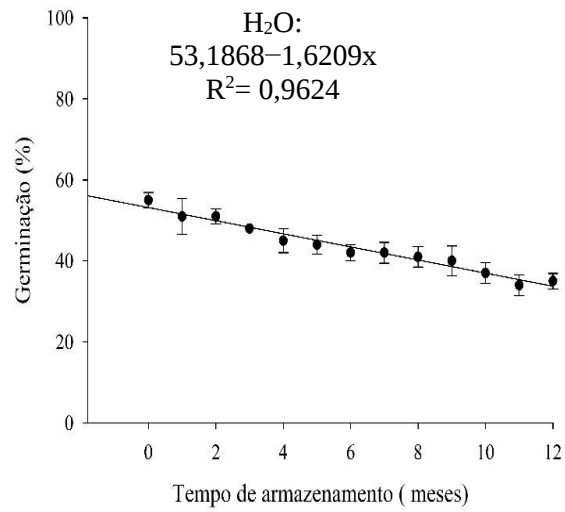
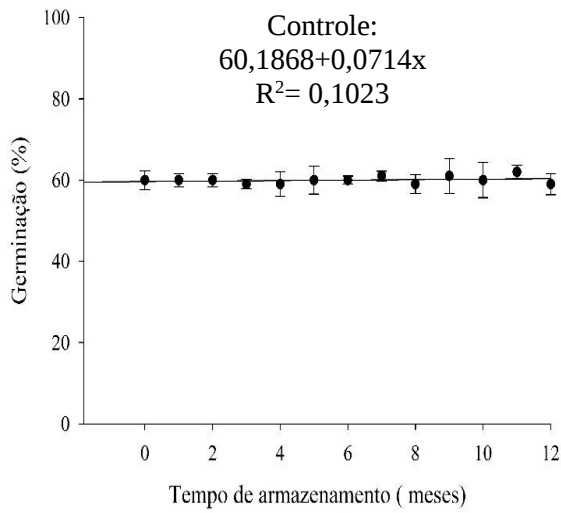
Durante o armazenamento das sementes condicionadas verificou-se efeito significativo ($P < 0,01$) dos tratamentos de condicionamento e do tempo de armazenamento das sementes, sendo a interação entre esses fatores também significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para a taxa de germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes tratamentos de condicionamento fisiológico (controle, hidrocondicionamento, SNP, GA₃, KNO₃ e EAF), seguidos de secagem, avaliada ao longo de 12 meses de armazenamento.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	5	12408	2,4816	87,87	<0,001
Tempo	12	13938	1,1615	141,132	<0,001
Tratamento × Tempo	60	4486	74,77	2,647	9,66 e ⁻⁸
Resíduos	234	6608	28,24		
Total	311	37440			
CV		9,38%			

A partir de análises de regressão com ajustes lineares, para identificar padrões específicos de comportamento (Figura 10). Foi possível observar que a germinação das sementes ao longo do armazenamento (meses) sob diferentes condicionantes: (H₂O, SNP, GA₃, KNO₃ e EAF), apresentou um declínio gradual enquanto o controle se manteve estável durante todo o período.

Figura 10. Análise de regressão linear para a germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* submetidas ao condicionamento fisiológico e secagem: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (condicionamento em água), nitroprussiato de sódio 1,0 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,4% (EAF) e armazenadas por até 12 meses



Segundo Oliveira *et al.* (2006), uma desvantagem do condicionamento fisiológico é a redução do potencial de armazenamento das sementes. Entretanto, é fundamental que elas sejam

armazenadas por tempo suficiente para garantir sua comercialização.

Com base nas análises das equações de regressão, ao término de 12 meses de armazenamento, todos os condicionantes reduziram a germinação das sementes, sugerindo que o efeito do condicionamento fisiológico durante o armazenamento independe do tipo de agente utilizado.

Dessa forma, surgem alguns questionamentos relevantes, como: as condições ideais de armazenamento para sementes condicionadas e possíveis variações entre os diferentes agentes condicionantes utilizados.

4. CONCLUSÕES

Os condicionantes GA₃, KNO₃, SNP e EAF melhoram de forma significativa a germinação de sementes e a emergência de plântulas de *Guazuma ulmifolia*, com destaque para a GA₃ que reduziu o TMG e o TME.

Todos os condicionantes reduziram o conteúdo de MDA, além de aumentar a atividade da SOD.

O uso de GA₃ e KNO₃ durante o condicionamento aumenta a atividade de alfa-amilase nas sementes.

O período de armazenamento das sementes de *Guazuma ulmifolia* após o condicionamento independe do condicionante utilizado reduzindo a germinação.

REFERÊNCIAS

ANJUM, S. A. *et al.* Cadmium toxicity in maize (*Zea mays* L.): consequences on antioxidative systems, reactive oxygen species and peroxide accumulation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 17022-17030, 2015. Doi.org/10.1007/s11356-015-4882-z.

ATAÍDE, G. M. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.

AHMADI, Khadijeh *et al.* Efficacy of KNO₃ and priming duration for improving germination, seedling growth, and peroxidase and enzymes of *Kelussia odoratissima* Mozaff. **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 6, p. 1120-1128, 2023. ISSN 1872-2032. Doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.04.003.

AYALA, A *et al.* Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2014, Article ID 360438, 2014. Doi.org/10.1155/2014/360438.

BATISTA, T *et al.* Priming of *Brachiaria* seeds with different sugar sources and concentrations. **Revista Caatinga**, v.31, n.4, p.843-849, 2018. Doi.org/10.1590/1983-21252018v31n406rc

BASTOS, L. L. S.; BORGES, E. E. L.; SOUZA, G. A.; ALMEIDA, L. S.; TORRES, F. T. P. Germination of *Senna macranthera* (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby in response to heat and smoke. **South African Journal of Botany**, v. 154, p. 219–224, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.032>.

BETHKE, P. C.; LIBOUREL, I. G.; JONES, R. L. Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany**, Potsdam, v. 57, n. 3, p. 517-526, 2006.

BHANUPRAKASH, K.; YOGESHA, H. S. Seed priming for abiotic stress tolerance: overview. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops**, v. 27, p. 103-117, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2725-0_6.

BONOME, L. *et al.* Osmoconditioning of *Urochloa brizantha* seeds to reduce pelleting negative effects. **Brazilian Journal of Agriculture**, v.92, n.2, p.87-100, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009. 395 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2013. 98p.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 53, 2014. Doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053.

DECARLI, L. *et al.* Tratamento industrial em sementes de soja: qualidade fisiológica e desempenho da cultura. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, Piracicaba, v. 14, n. 3, 2019.

DEMIR, I. *et al.* Priming with smoke-derived karrikinolide enhances germination and transplant quality of immature and mature pepper seed lots. **South African Journal of Botany**, v. 115, p. 264–268, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.001>.

DHILLON, B. S. *et al.* Seed priming with potassium nitrate and gibberellic acid enhances the performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) in North-Western India. **Agronomy**, v. 11, p. 849, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050849>.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiological alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

FERNANDES, A. C. *et al.* Use of different conditioning agents and evaluation of the quality of two batches of annatto (*Bixa orellana*) seeds. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 808–829, 2021. Doi.org/10.5902/1980509844156.

FERRAZ, I. D. K. *et al.* Smoke-water effect on the germination of Amazonian tree species. **South African Journal of Botany**, v. 87, p. 122-128, 2013.

FICHINO, B. S. et al. Does fire trigger seed germination in the neotropical Savanas? Experimental test with six Cerrado species. **Biotropica**, v. 48, p. 181-187, 2016. Doi.org/10.1111/btp.12276.

FREIRE, J. M *et al.*, Forest seedlings supply for restoration of the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Floram**, v. 29, n. 3, e20210058, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0058>

GHANNAD, R. et al. Induction of hydrolytic enzyme activities in dormant seeds of *Dracocephalum kotschy* Boiss. Causes improvement of germination and seedling vigor. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, p. 48, 2022. Doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11738-022-03381-y.

GIANNOPOLITE, C. N.; RIES, S. K. Superóxido dismutase: I. Ocorrência em plantas superiores. **Fisiologia Vegetal**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>.

HODGES, D. M *et al.* Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Plants**, v. 207, n. 1, p. 604–611, 1999. DOI: 10.1007/s004250050524.

HESSINI, K. *et al.* Seed priming with salicylic acid alleviates salt stress toxicity in barley by suppressing ROS accumulation and improving periódicos e defense systems. **Antioxidants**, v. 12, n. 9, p. 1779, 2023. Doi.org/10.3390/antiox12091779.

JOSÉ, A. C. *et al.* Influence of priming on Eucalyptus spp. Seeds' tolerance to salt stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 4, p. 329-334, 2016.

KAYA, M. D. et al. Seed priming as a method of preservation and restoration of sunflower seeds. **OCL**, v. 31, p. 4, 2024. Doi.org/10.1051/ocl/2024003.

KAISER, I. S. *et al.* Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016.

LI, Q *et al.* Higher endogenous bioactive gibberellins and α -amylase activity confer greater tolerance of rice seed germination to saline-alkaline stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 162, p. 357-363, 2019.

LIU, L. *et al.* Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 275, 2018.

LU, J *et al.* Effect of hydrogen peroxide on seedling growth and antioxidants in two wheat cultivars. **Biologia Plantarum**, v. 57, n. 3, p. 487–494, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10535-013-0312-6>.

MAGOME, H. *et al.* Dwarf and delayed-flowering 1, a novel Arabidopsis mutant deficient in

gibberellin biosynthesis because of overexpression of a putative AP2 transcription factor. **The Plant Journal**, v. 37, n. 5, p. 720-729, mar. 2004. Doi.org/10.1111/j.1365-313x.2003.01998.x.

MAROSTEGA, Thalita Neves *et al.* Methods of breaking seed dormancy for ornamental passion fruit species. **Ornamental Horticulture**, v. 23, p. 72, 2017.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, Mar. 1959.

MITCHELL, J. *et al.* Gibberellin response in the embryo epidermis regulates germination uniformity in response to seed priming. **BioRxiv**, Laurel Hollow, 436121, 2018.

NAWAZ, F *et al.* Seed priming with KNO₃ mediates biochemical processes to inhibit lead toxicity in maize (*Zea mays* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 97, n. 14, p. 4780-4789, 2017.

PAIVA SOBRINHO, S.; SIQUEIRA, A. G. Morphological characterization of fruits, seeds, seedlings, and juvenile plants of mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam. - Sterculiaceae). **Brazilian Seed Journal**, v. 30, n. 1, p. 114–120, 2008. DOI: 10.1590/S0101-31222008000100015

PEREIRA, B. L. C. *et al.* Influence of nitric oxide on the germination of *Plathymenia reticulata* Benth seeds with low vigor. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 629-636, 2010.

PEREIRA, Gustavo Araujo *et al.* Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.) fruit as a novel source of dietary fibre and phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125857, 2020. ISSN 0308-8146. Doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125857.

PEREIRA, A. A. S. *et al.* Can priming with ascorbic acid or nitric oxide improve the germinability of stored sunflower seeds? **Journal of Seed Science**, v. 44, p. 1, 2022.

PIRES, R. *et al.* Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 022-029, 2016.

RAU, T. G *et al.* Benzylaminopurine and gibberellin in the germination process of yellow guava. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e49110515124, 2021. Doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15124.

RIBEIRO, E. C. G. *et al.* Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, 2019.

SADAK, M. S. Nitric oxide and hydrogen peroxide as signalling molecules for better growth and yield of wheat plant exposed to water deficiency. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, p. 209-223, 2022. Doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.117465.5297.

SAHU, B *et al.* Reactive oxygen species, lipid peroxidation, protein oxidation and antioxidant enzymes in dehydration of *Pongamia pinnata* seeds during storage. **South African Journal of Botany**, v. 112, n. 1, p. 383–390, 2017. Doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.030.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Análise da germinação: um enfoque estatístico. Brasília:

Editora da Universidade de Brasília. 247–248 p. ISBN 8523007911, 2004.

SHANI, E. *et al.* Highlights in gibberellin research: A tale of the dwarf and the slender. **Plant Physiology**, v. 195, n. 1, p. 111–134, May 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae044>.

SIADAT, S. A *et al.* Effects of halo and phytohormone seed priming on germination and seedling growth of maize under duration of accelerated ageing treatment. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, p. 6453–6462, 2011. Doi.org/10.5897/AJAR11.920.

SILVA, A. L *et al.* Effect of cyanide by sodium nitroprusside (SNP) application on germination, antioxidative system and lipid peroxidation of *Senna macranthera* seeds under saline stress. **Journal of Seed Sciences**, Londrina, v. 41, p. 86–96, 2019. Doi.org/10.1590/2317-1545v41n1196543

TU, K *et al.* Effects of seed priming on vitality and preservation of pepper seeds. **Agriculture**, v. 12, p. 603, 2022. Doi.org/10.3390/agriculture12050603.

VELIKOVA, V.; IORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59–66, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1).

VISHAL, B.; KUMAR, P. Regulation of seed germination and abiotic stresses by gibberellins and abscisic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 838, 2018. Disponível em: <https://doi.org/ez26.periodicos.capes.gov.br/10.3389/fpls.2018.00838>.

XU, L. *et al.* Timing for antioxidant preparation against rice seed aging: ideal only at the non-resistant stage. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020. Doi.org/10.1038/s41598-020-70189-6.

YAN, M. Prolonged storage reduced the positive effect of hydropriming in Chinese cabbage seeds stored at different temperatures. **South African Journal of Botany**, v. 111, p. 313–315, 2017. Doi.org/10.1016/j.sajb.2017.04.005.

ZHANG, Y *et al.* Nitric oxide regulates seed germination by integrating multiple signalling pathways. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 9052, 2023. Doi.org/10.3390/ijms24109052.

CAPÍTULO 3: Condicionamento fisiológico em sementes de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby

RESUMO

A restauração ecológica de ecossistemas degradados exige sementes com alta viabilidade e vigor. *Senna multijuga* (Fabaceae), espécie pioneira da Mata Atlântica, apresenta potencial para revegetação. Este estudo avaliou o efeito do condicionamento fisiológico sobre a germinação, crescimento inicial e viabilidade pós-armazenamento das sementes da espécie. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos: controle, hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio (SNP 0,1 µM), ácido giberélico (GA₃ 1,5 µM), nitrato de potássio (KNO₃ 1,0% p/v) e extrato aquoso de fumaça (EAF 0,8%). As sementes foram submetidas à quebra de dormência, assepsia, condicionamento por 48 horas e secagem, seguidos de avaliações fisiológicas e bioquímicas, além da emergência em viveiro e viabilidade pós-armazenamento. Os tratamentos com SNP e GA₃ promoveram maior taxa de germinação e vigor das plântulas, reduzindo o tempo médio de germinação (TMG) e aumentando a emergência em viveiro. O EAF e o KNO₃ não diferiram do controle na germinação, mas favoreceram a emergência. O condicionamento com SNP e GA₃ reduziu o estresse oxidativo (H₂O₂ e MDA) e elevou a atividade antioxidante (SOD e CAT). O condicionamento com GA₃ resultou em estímulo da atividade da alfa-amilase. O armazenamento das sementes após o condicionamento resultou em redução progressiva da viabilidade. Sementes não tratadas (controle) tiveram maior taxa de germinação ao longo do armazenamento, enquanto EAF, KNO₃ e SNP apresentaram maior deterioração. Conclui-se que o condicionamento com GA₃ e SNP é a melhor estratégia para melhorar a germinação e o vigor de sementes de *S. multijuga*, sendo indicado para produção de mudas destinadas à restauração florestal. No entanto, o armazenamento prolongado das sementes após o condicionamento não é recomendado devido à perda de viabilidade.

Palavras chave: germinação; armazenamento; vigor

Priming in Seeds of *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby**ABSTRACT**

The ecological restoration of degraded ecosystems requires seeds with high viability and vigor. *Senna multijuga* (Fabaceae), a pioneer species of the Atlantic Forest, has potential for revegetation. This study evaluated the effects of physiological conditioning on the germination, initial growth, and poststorage viability of the seeds of this species. The experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments: control, hydroconditioning (H₂O), sodium nitroprusside (SNP 0.1 µM), gibberellic acid (GA₃ 1.5 µM), potassium nitrate (KNO₃ 1.0% w/v), and aqueous smoke extract (AES 0.8%). The seeds were subjected to dormancy breaking, asepsis, conditioning for 48 hours, and drying, followed by physiological and biochemical evaluations, as well as emergence in the nursery and poststorage viability. The SNP and GA₃ treatments promoted higher germination rates and seedling vigor, reducing the mean germination time (MGT) and increasing emergence in the nursery. AES and KNO₃ did not differ from the control in terms of germination but favored emergence. Conditioning with SNP and GA₃ reduced oxidative stress (H₂O₂ and MDA) and increased antioxidant activity (SOD and CAT). Conditioning with GA₃ resulted in the stimulation of alpha-amylase activity. Seed storage after conditioning resulted in a progressive reduction in viability. Untreated seeds (control) presented a relatively high germination rate throughout storage, whereas those in the AES, KNO₃, and SNP treatments presented greater deterioration. In conclusion, conditioning with GA₃ and SNP is the best strategy for improving the germination and vigor of *S. multijuga* seeds and is indicated for the production of seedlings for forest restoration. However, prolonged storage of seeds after conditioning is not recommended because of the loss of viability.

Keywords: germination; storage; vigor

1. INTRODUÇÃO

Estudos voltados para a conservação florestal e a restauração de ecossistemas degradados são necessários na redução dos impactos ambientais resultantes de atividades antrópicas. A revegetação dessas áreas, com o uso de técnicas apropriadas de restauração ecológica, contribui significativamente para a recuperação da biodiversidade e o restabelecimento de serviços ecossistêmicos essenciais.

Senna multijuga, espécie arbórea da família Fabaceae, nativa da Mata Atlântica é classificada como pioneira indicada para a revegetação mista de áreas degradadas de preservação permanente (Lorenzi, 1992). O estudo das sementes dessa espécie é importante, uma vez que está diretamente relacionado à produção de recursos para a revegetação, à recomposição da vegetação, e aos mecanismos de manutenção e renovação das populações naturais (Piveta *et al.*, 2010)

Assim, compreender os fatores que influenciam a germinação das sementes e investigar métodos que possam aumentar a taxa de germinação em um curto período, resultando em mudas de alto vigor é necessário para os programas de recuperação de áreas degradadas. Uma estratégia para alcançar essa melhora é o condicionamento fisiológico das sementes, que visa a melhorar a germinação e acelerar a produção de mudas para uso em programas de restauração ecológica.

O condicionamento fisiológico das sementes pode ser descrito como a embebição controlada das sementes, onde ocorrem diversos eventos fisiológicos associados à germinação que são ativados e mantidos em um estado avançado, mesmo após a secagem, permitindo que a germinação subsequente ocorra de maneira mais rápida e uniforme (José *et al.*, 2016 e Ribeiro *et al.*, 2019).

Dentre os métodos de condicionamento, o uso de moléculas de sinalização, dentre elas o nitroprussiato de sódio (SNP) é considerada uma das mais testadas para condicionamento fisiológico de sementes, devido ao seu potencial, com relatos de eficiência em espécies florestais (Pereira *et al.*, 2022). Esta molécula atua principalmente como doadora de óxido nítrico (NO), induzindo altos estímulos enzimáticos aumentando a absorção de macronutrientes (El-Shazoly *et al.*, 2024).

Outra substância amplamente utilizada no tratamento de sementes é o ácido giberélico (GA₃), que atua como uma molécula sinalizadora, promovendo a indução da germinação, o

alongamento dos entrenós e estimulando processos fundamentais, como a divisão e a expansão celular em plantas (Ryu; Cho, 2015).

O uso nitrato de potássio (KNO_3) também é indicado como agente condicionante de sementes. Seus íons de K^+ que ficam presentes no conteúdo celular atuam como cofatores em numerosos sistemas enzimáticos e a sua absorção pela semente favorece a germinação (Nawaz *et al.*, 2017).

O extrato aquoso de fumaça (EAF) é relatado na literatura como sendo capaz de potencializar a germinação das sementes. Os compostos ativos em sua composição como os butenolóides, responsáveis pelo estímulo a germinação das sementes, está relacionado à rota da giberelina durante a germinação, tendo um efeito similar a mesma, apresentando também similaridade com as estrigolactonas, aumentando o potencial de germinação. (Flematti *et al.*, 2013).

Os produtos usados no condicionamento de sementes exercem influência direta nas respostas bioquímicas, podendo promover a ativação de mecanismos antioxidantes. Enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) desempenham um papel central nesse processo, sendo indicadoras da capacidade das sementes em reduzir o estresse oxidativo induzido por diferentes tratamentos. Dessa forma, a ação de cada condicionante pode ser avaliada com base na sua capacidade de estimular respostas enzimáticas, refletindo sua atuação no fortalecimento dos sistemas de defesa celular durante o processo de germinação (ZENG *et al.*, 2022)

Embora pesquisas tenham investigado os aspectos moleculares do metabolismo pré-germinativo induzido pelo condicionamento (Wojtyla *et al.*, 2016; Macovei *et al.*, 2017), a relação entre esse tratamento e a longevidade após o condicionamento das sementes ainda demanda estudos. Diversos fatores podem alterar longevidade das sementes após o condicionamento, tais como o tempo e temperatura de armazenamento, o vigor inicial das sementes a velocidade de secagem pós condicionamento ou mesmo a umidade final da semente (Farooq *et al.*, 2019).

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do condicionamento fisiológico na germinação e no crescimento inicial de plântulas de *Senna multijuga*, por meio da análise de parâmetros fisiológicos e bioquímicos, além de determinar o efeito do condicionamento na resposta das sementes durante o armazenamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condições de armazenamento

Todos os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Sementes Florestais e no Viveiro Florestal, ambos do Departamento de Ciências Florestais e no Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas no Departamento de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) localizada no estado de Minas Gerais. As sementes de *Senna multijuga* coletadas em 2016, estavam armazenadas em câmara fria (6 a 8 °C e 40% UR, em saco de polietileno).

2.2. Condicionamento fisiológico e condições experimentais

O experimento de condicionamento fisiológico da *Senna multijuga* foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) composto por seis tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos testados foram: controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (sementes condicionadas em água), SNP (0,1 µM), GA₃ (1,5 µM), KNO₃ (1,0% p/v) e EAF (0,8%). As concentrações utilizadas de cada condicionante foram definidas a partir de testes pilotos.

Para a obtenção do extrato aquoso de fumaça foi realizada a carbonização de folhas e galhos de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados 200 gramas de material vegetal, que foi colocado em um recipiente metálico com mangueiras acopladas a um frasco contendo água destilada. Após o início da combustão, a fumaça foi bombeada à força por uma bomba manual para impulsionar os gases da combustão para o fundo do frasco com água destilada até que todo o conteúdo fosse consumido pelo fogo. Após as devidas diluições, foram realizadas medições de pH, e em todas as concentrações, o pH variou de 6,6 a 7,1. O frasco contendo o extrato aquoso de fumaça foi fechado e armazenado a 10°C no escuro até o uso.

As sementes de *Senna multijuga* foram submetidas à quebra de dormência utilizando alicate para despontar o tegumento na lateral do terço superior da semente, na parte oposta a micrópila, sem atingir os cotilédones (BRASIL, 2013). Posteriormente, as sementes foram desinfetadas em solução de hipoclorito 2% por 3 minutos seguido enxagues em água corrente (BRASIL, 2013) e condicionadas por 48 horas a 10 °C, na ausência de luz, em placas de Petri sobre papel de germinação. Após o condicionamento, as sementes foram lavadas com água destilada e submetidas à secagem (20 °C, 10%UR), em recipiente contendo sílica gel, até atingirem o conteúdo de água anterior ao condicionamento. As sementes foram dispostas em caixas gerbox com papel de germinação umedecido com água destilada, em quatro repetições de 25 sementes cada. As caixas foram incubadas em câmara de germinação, com fotoperíodo

de 12 horas e temperatura de 25 °C. A germinação foi avaliada diariamente contabilizando-se o número de sementes germinadas (protusão de radícula) e ao final de 7 dias o número de plântulas normais, anormais, sementes mortas e duras. Foi realizado o cálculo do tempo médio de germinação (TMG) pela equação proposta por Santana et al. (2004).

2.3. Emergência de plântulas em condição de viveiro.

As sementes condicionadas foram também testadas em condições de viveiro. Para isso, foi realizada a semeadura em sementeiras com dimensões de 80 x 200 cm, contendo como substrato areia lavada. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com irrigação aplicada duas vezes ao dia. A contagem da emergência das plântulas foi realizada diariamente, sempre no mesmo horário. A contagem das plântulas emergidas foi realizada no momento que o cotilédone rompeu a superfície do substrato. Após um período de 30 dias, as plântulas foram removidas das sementeiras para a avaliação do comprimento da parte aérea e do sistema radicular. Para tal, foram selecionadas aleatoriamente 40 plântulas por tratamento. O excesso de areia presente no sistema radicular foi cuidadosamente removido e as plântulas foram dispostas em bandejas com papel umedecido, a fim de evitar a perda de turgor até o momento da avaliação. O comprimento das plantas foi medido utilizando o software ImageJ.

2.4. Armazenamento de sementes condicionadas

Após o processo de condicionamento e secagem, as sementes foram acondicionadas em tubos de plástico e armazenadas em freezer a uma temperatura de -20 °C. Para cada tratamento, foram preparadas 12 amostras, cada uma contendo 100 sementes. A cada mês, uma amostra de cada tratamento foi retirada para avaliação da viabilidade por meio do teste de germinação.

2.5. Análises bioquímicas

Para a realização das análises bioquímicas, as sementes previamente condicionadas e secadas foram maceradas em nitrogênio líquido. Foram utilizados 100 mg de sementes maceradas para extração de enzimas para análises bioquímicas. As amostras foram armazenadas em ultrafreezer (-80 °C) até o momento das análises. Para as análises de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), utilizou-se polivinilpolipirrolidona (PVPP) como agente adsorvente. Não foram realizadas análises para o hidrocondicionamento, uma vez que esse tratamento não apresentou diferenças significativas

nas análises fisiológicas em comparação ao controle

2.6. Peroxidação lipídica e quantificação de peróxido de hidrogênio

A peroxidação lipídica foi quantificada por meio da determinação dos níveis de malondialdeído (MDA), conforme descrito por Hodges *et al.*, (1999). Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de etanol a 80%, sendo posteriormente centrifugadas e o sobrenadante coletado. Este procedimento foi repetido três vezes, resultando em um volume final de 3 mL. A reação foi conduzida com 1 mL do extrato e 1 mL de uma solução composta por ácido tricloroacético (TCA) a 20%, ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,65% e butil-hidroxitolueno (BHT) a 0,01%. A peroxidação lipídica foi estimada pela leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 440, 532 e 600 nm.

A quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguiu o protocolo de Velikova *et al.* (2000). Para isso, 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de TCA a 0,1%. Após centrifugação, o sobrenadante foi colocado para reação em tampão fosfato de potássio 10 mM (KH_2PO_4) pH 7,0 e iodeto de potássio (KI). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm, utilizando uma curva padrão para a quantificação do H_2O_2 .

2.7. Enzimas do sistema antioxidante

A atividade do sistema antioxidante enzimático, incluindo superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), foi avaliada em sementes secas após o condicionamento fisiológico. Os extratos enzimáticos foram preparados conforme o protocolo descrito por Biemelt *et al.* (1998), onde 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido na presença de polivinilpirrolidona (PVPP), sendo adicionados 1,5 mL de tampão de extração composto por fosfato de potássio 400 mM (pH 7,8), EDTA 10 mM e ácido ascórbico 200 mM. A mistura foi centrifugada a 13.000 g por 10 minutos a 4 °C, e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação das atividades enzimáticas. A atividade da SOD foi determinada pela capacidade da enzima de inibir a fotoredução do nitroblue tetrazolium (NBT), conforme Giannopolitis e Ries (1977). As leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm. A atividade da CAT foi realizada de acordo com Havir e McHale (1987), baseada na redução da absorbância a 240 nm, monitorada a cada 15 segundos durante 3 minutos, devido à decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

2.8.Extração e quantificação de Alfa-amilase

Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido. A cada amostra foi adicionado 1 mL de água destilada gelada para a extração enzimática. A mistura foi mantida em banho de resfriamento a 4 °C por 10 minutos e em seguida foi centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante resultante foi utilizado como extrato bruto. A atividade da α -amilase foi quantificada utilizando uma versão modificada do método do ácido 3,5-dinitrosalicílico, conforme descrito por Miller (1959). O extrato enzimático bruto foi aquecido por 15 minutos a 70 °C. Em seguida, 1 mL do extrato foi misturado com 1 mL de amido solúvel a 1%, dissolvido em tampão acetato de sódio (pH 5,6). A mistura foi incubada por 15 minutos a 40 °C e, em seguida, fervida por 5 minutos na presença de 2 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico. A quantidade de açúcares redutores liberados foi determinada por espectrofotometria UV-visível a 540 nm, utilizando maltose como padrão de açúcares redutores.

2.9.Análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, para análise de germinação em laboratório e análises bioquímicas, enquanto a emergência em viveiro foi conduzida em um delineamento em blocos casualizados. Os dados foram testados quanto à normalidade utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) e homoscedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$), os dados foram submetidos à ANOVA, foi selecionado o teste de médias de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote de *software* RStudio. Posteriormente, foi avaliada a correlação entre as variáveis fisiológicas e bioquímicas por meio da correlação de *Pearson* e os dados de armazenamento foram analisados através da regressão polinomial de cada variável em função do tempo de armazenamento ambos utilizando o pacote de *software* RStudio.

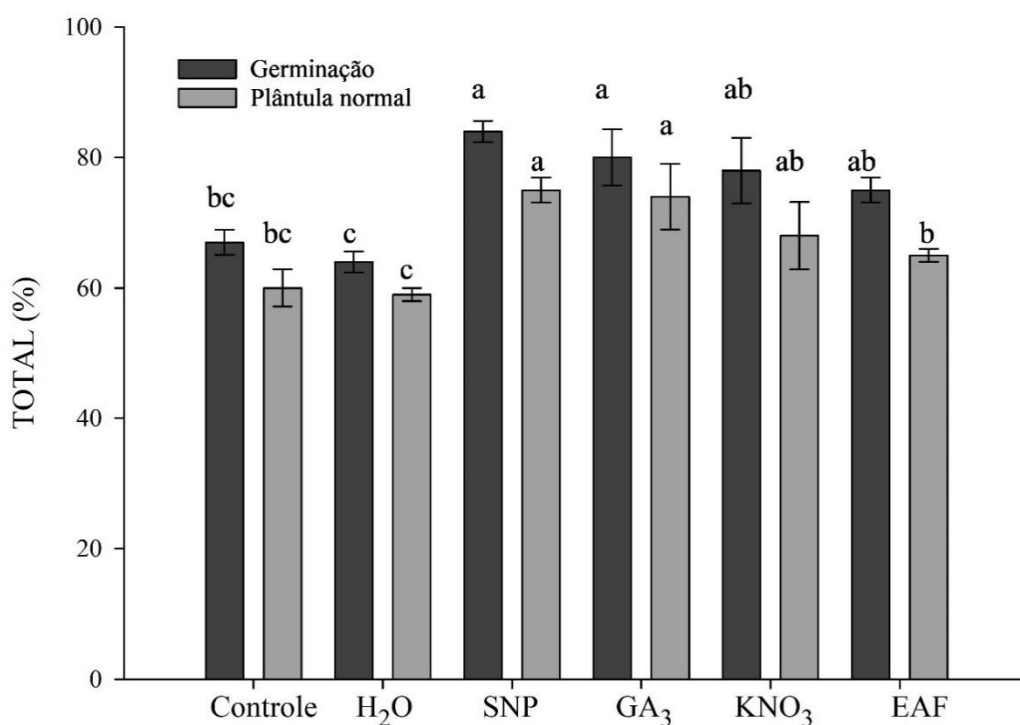
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.Condicionamento fisiológico

O condicionamento das sementes com SNP e GA₃ promoveu um aumento significativo no percentual de germinação em comparação ao controle. Já os tratamentos com EAF e KNO₃ não diferiram estatisticamente do controle nem dos tratamentos com SNP e GA₃. Por outro lado, o hidrocondicionamento apresentou a menor taxa de germinação (Figura 1).

Diferenças significativas também foram observadas na porcentagem de plântulas normais. Sementes tratadas com SNP e GA₃ resultaram em uma maior proporção de plântulas normais, evidenciando os efeitos positivos desses reguladores. Em contraste, o hidrocondicionamento resultou na menor porcentagem de plântulas normais, demonstrando sua limitação na promoção do vigor das plântulas (Figura 1).

Figura 1- Porcentagem de germinação e plântulas normais de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

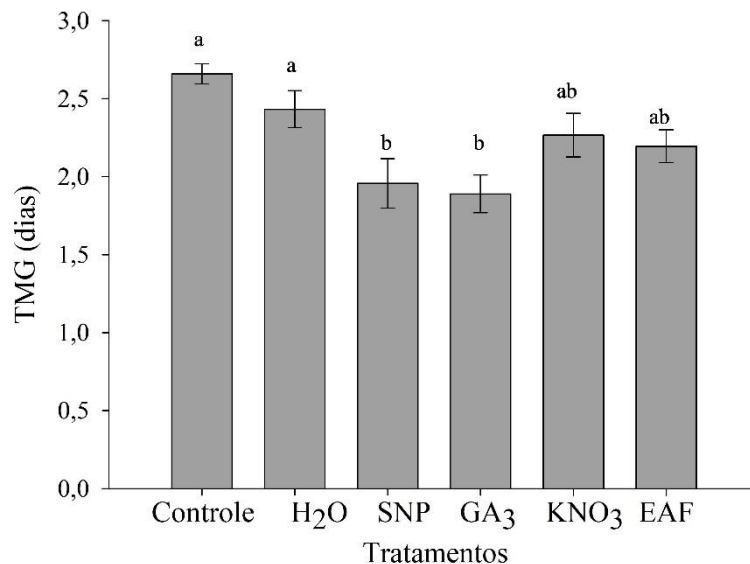


Fonte:
Da
autora
(2025).

Ao avaliar o tempo médio de germinação (TMG) foi possível observar que tanto o controle quanto o hidrocondicionamento apresentaram TMG semelhantes, sendo maiores (cerca de 2,5 dias), em comparação aos demais tratamentos. Entretanto, sementes condicionadas com GA₃ e SNP apresentaram os menores tempos de germinação (cerca de 1,5 dias), indicando que além de acelerar a germinação e a aumentar o número de plântulas normais, também reduz o tempo médio de germinação. O uso de KNO₃ e EAF resultou em valores intermediários de tempo médio de germinação, próximos a 2,0 dias. (Figura 2).

Figura 2- Tempo médio de germinação de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento

(H₂O) nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média



Fonte: Da autora (2025).

O nitroprussiato de sódio (SNP) atua como doador de óxido nítrico (NO), molécula sinalizadora que desempenha um papel crucial na indução de respostas enzimáticas, promovendo a absorção de macronutrientes e, assim, aumentando a germinação das sementes. O NO também interage com a giberelina de forma a reduzir os efeitos reguladores do ácido abscísico (ABA) durante a germinação, resultando na melhoria do desempenho germinativo das sementes quando SNP é aplicado (Kara *et al.*, 2020).

Em pesquisas realizadas com sementes de *Senna macranthera*, a aplicação de nitroprussiato de sódio (SNP), aumentou a germinação mesmo em condições de estresse salino, conforme relatado por Silva *et al.* (2018, 2019). Em outro estudo, com sementes de algodão, Santos *et al.* (2023) observaram que o SNP desempenhou um papel significativo no aumento da tolerância ao déficit hídrico, aumentando a germinação em condições de baixa disponibilidade de água.

Em estudos realizados por Pereira *et al.*, (2020) o uso SNP promoveu aumento da porcentagem de germinação, vigor e desenvolvimento de sementes de *Eucalypto urophylla* sob condições de estresse salino em comparação com sementes não preparadas, indicando que a liberação de óxido nítrico por meio do condicionamento com SNP é benéfico, atuando como um protetor celular, auxiliando na manutenção da germinação, vigor e desenvolvimento das sementes.

Assim como o SNP, o uso da ácido giberélico também aumentou a germinação das sementes de *Senna multijuga*. Estudos indicam que a aplicação desse hormônio promove o alongamento celular, impactando diretamente no crescimento do embrião e das raízes das plântulas (Xia *et al.*, 2023).

A aplicação de extrato aquoso de fumaça e de nitrato de potássio não afetou a germinação das sementes, em comparação ao controle. O extrato aquoso de fumaça possui vários compostos relacionados a germinação de sementes (Voko *et al.*, 2022) entretanto, a dosagem utilizada nesse trabalho não apresentou resultados significativos.

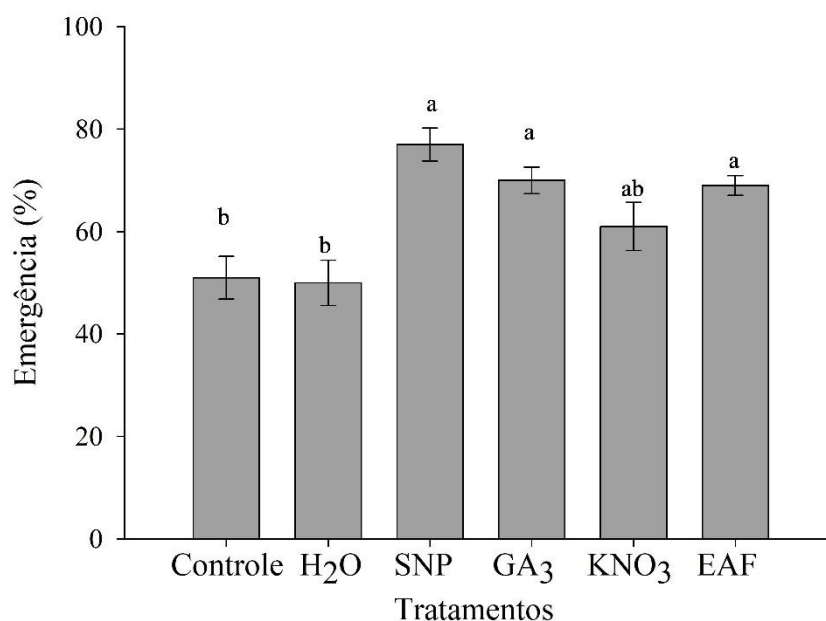
Da mesma forma, o nitrato de potássio tem sido utilizado com sucesso na indução da germinação de várias sementes. A utilização de KNO_3 em baixas concentrações teve um efeito na germinação e crescimento de cártamo (Ahmadi *et al.*, 2022). Ebadi *et al.*, (2016) também demonstraram que o KNO_3 em baixa concentração aumentou a germinação e crescimento das mudas de *Silybum marianum*.

O tempo médio de germinação (TMG) é uma variável importante, determinada durante o teste de germinação. Menores valores de TMG são desejados para um lote de sementes, tendo-se em vista que, com a germinação rápida as plântulas podem se estabelecer mais rapidamente. Em sementes de algodão condicionadas em GA_3 , Xia *et al.*, (2023) observaram que a ácido giberélico reduziu o TMG das sementes, o mesmo encontrado por Pereira *et al.*, (2022), analisando o condicionamento fisiológico das sementes de girassol e por Pereira *et al.*, (2020) em sementes de *Eucalypto urophylla* condicionadas em SNP.

3.2. Teste de emergência

Quando avaliada a resposta do condicionamento fisiológico em sementeira, verificou-se efeito positivo do condicionamento das sementes com GA_3 , SNP e EAF em comparação ao controle, hidrocondicionamento e KNO_3 , evidenciando que a aplicação de reguladores exógenos e doadores de óxido nítrico pode aumentar significativamente a emergência no viveiro (Figura 3).

Figura 3- Emergência em sementeira de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O) nitroprussiato de sódio $0,1 \mu\text{M}$ (SNP), ácido giberélico $1,5 \mu\text{M}$ (GA_3) nitrato de potássio $1,0\%$ (KNO_3), extrato aquoso de fumaça $0,8\%$ (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média



Fonte:

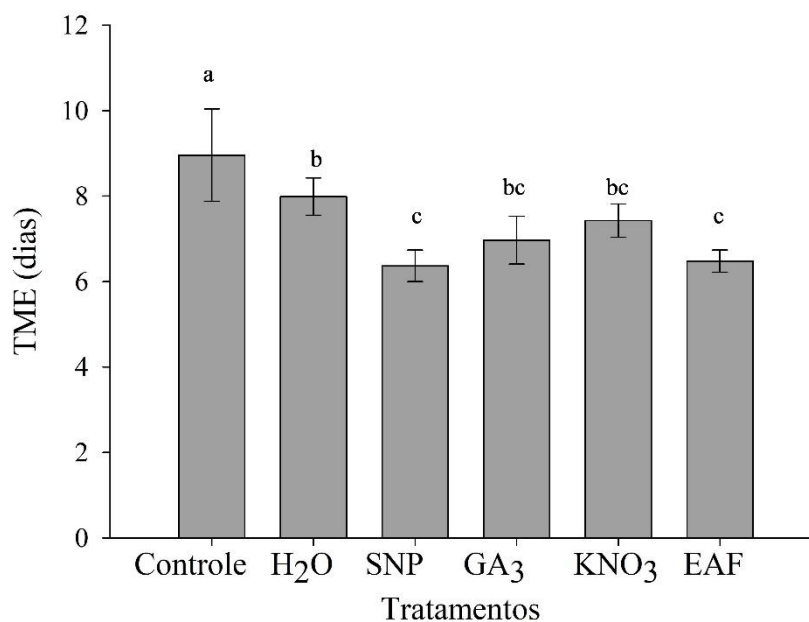
Da autora (2025)

Esse resultado sugere que, em condições de viveiro, onde as sementes estão sujeitas a fatores de estresse ambiental, os tratamentos que envolvem substâncias bioativas melhoram a capacidade de emergência das sementes, aumentando suas chances de estabelecimento.

O uso do extrato aquoso de fumaça (EAF) foi superior quando analisada a emergência das sementes. Esse efeito pode ser atribuído à capacidade dos compostos presentes na fumaça de induzir respostas fisiológicas nas sementes, favorecendo a quebra de dormência e estimulando processos metabólicos essenciais para o início do desenvolvimento germinativo (Govindaraj *et al.*, 2016).

Ao avaliar o tempo médio de emergência (TME), observou-se que os tratamentos com SNP e EAF resultaram no menor TME seguidos pelo GA₃ e pelo KNO₃ distinguindo-se significativamente do controle e o hidrocondicionamento (H₂O) (Figura 4).

Figura 4- Tempo médio de emergência de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

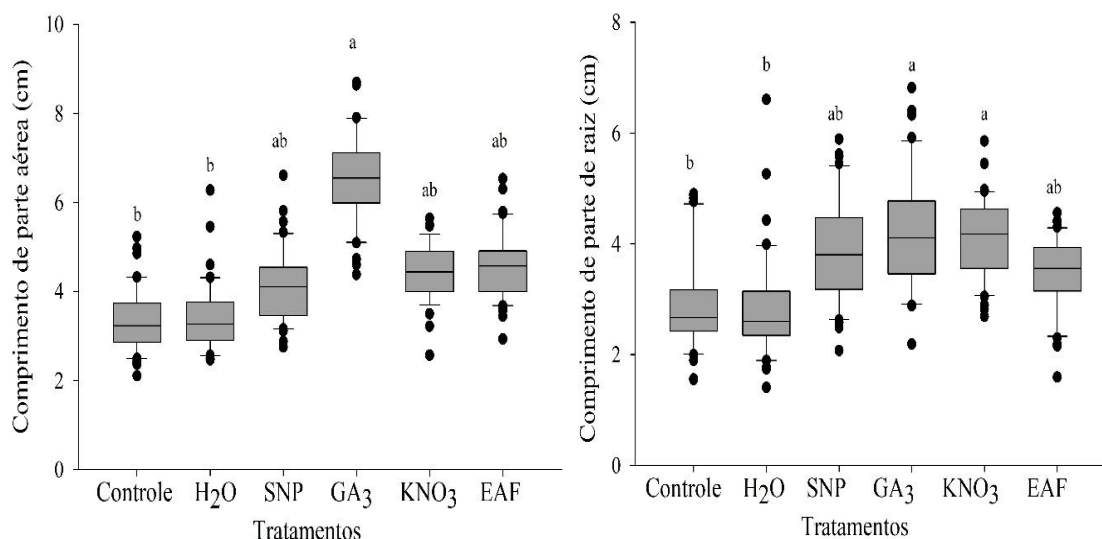


Fonte: Da autora (2025).

O menor TME em condições de viveiro é fundamental para o estabelecimento inicial bem-sucedido de plantas, com implicações diretas no crescimento. Tratamentos que proporcionaram menor TME aumentam a capacidade das plântulas de competirem por luz, nutrientes e água, resultando em plântulas mais vigorosas e com maiores chances de sobrevivência (Finch *et al.*, 2016).

Em relação ao crescimento das plântulas após 30 dias de semeadura, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. O uso de GA₃ promoveu o maior crescimento da parte aérea e das raízes, o KNO₃ também apresentou efeitos positivos no crescimento radicular. Os tratamentos com SNP e EAF resultaram em valores intermediários, sem diferenças significativas em relação ao GA₃ e KNO₃ para o comprimento da raiz, mas inferiores para a parte aérea. Em contrapartida, o hidrocondicionamento (H₂O) e o controle apresentaram os menores valores para ambos os parâmetros (Figura 5).

Figura 5- Análise boxplot do crescimento da parte aérea (A) e radicular (B) de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Da autora (2025).

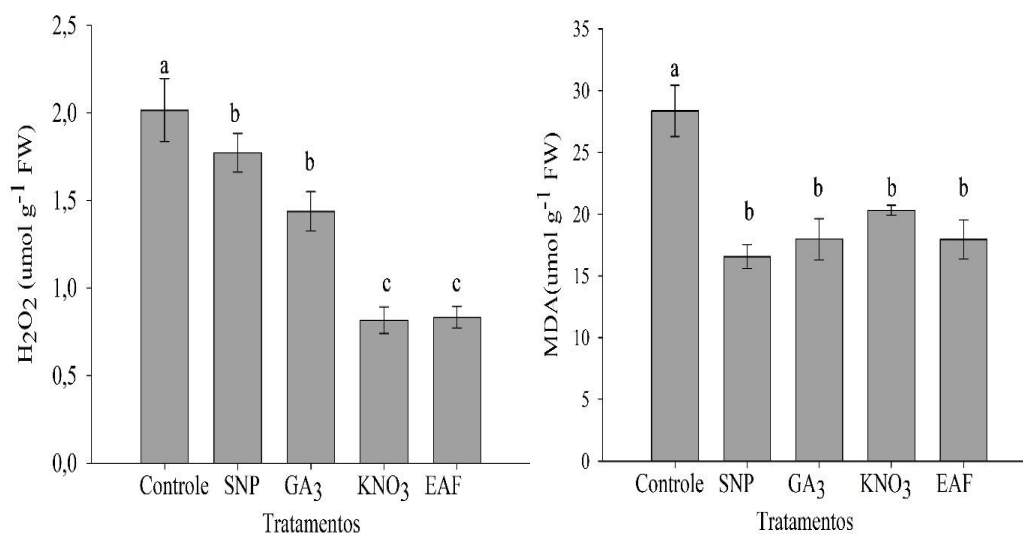
O condicionamento fisiológico também refletiu no crescimento tanto de parte aérea, quanto radicular. As sementes condicionadas com GA₃ apresentaram maior crescimento, o que pode ser explicado pela ação desse regulador de crescimento na indução do alongamento celular, o que leva ao crescimento das plântulas (Shah *et al.*, 2023). Prabha *et al.*, (2018), observaram que sementes de feijão envelhecidas tratadas com GA₃ melhoram a germinação e o crescimento inicial das plântulas.

Em estudos com plântulas de girassol, Bailly *et al.*, (2007) evidenciaram efeito positivo do SNP sobre o crescimento radicular e a tolerância ao estresse salino em plântulas de girassol.

3.3. Análises Bioquímicas

Foram observadas alterações significativas no conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). O tratamento controle apresentou o maior conteúdo de peróxido de hidrogênio, enquanto as sementes condicionadas com SNP, GA₃, KNO₃ e EAF apresentaram redução nos níveis de H₂O₂, a mesma resposta foi encontrada quando analisado o teor de malondialdeído (MDA), onde o controle (sementes não condicionadas) também apresentou o maior conteúdo de MDA (Figura 6).

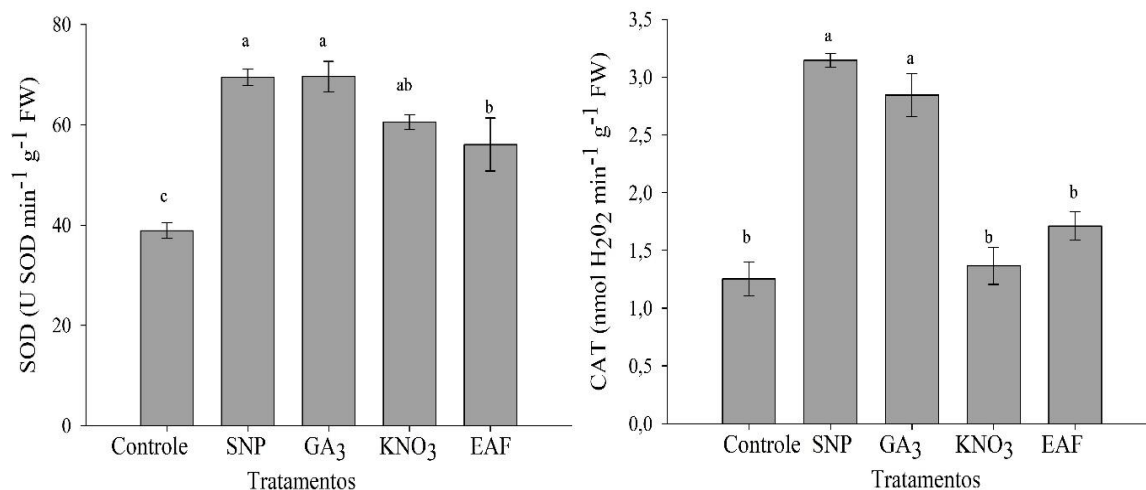
Figura 6- Teor de malondialdeído (MDA) e peroxido de hidrogênio (H₂O₂) em *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Ao analisar a atividade enzima superóxido dismutase (SOD), verificou-se que os tratamentos com GA₃ (1,5 μM) e SNP (0,1 μM) induziram as maiores atividades da enzima SOD, enquanto o controle, apresentou a menor atividade antioxidante, indicando que os tratamentos aumentam a defesa antioxidante das sementes. Para a atividade da enzima catalase (CAT), verificou-se que o condicionamento das sementes com SNP e GA₃ promoveram maior atividade da enzima, os tratamentos com KNO₃, EAF não afetaram a atividade da CAT (Figura 7).

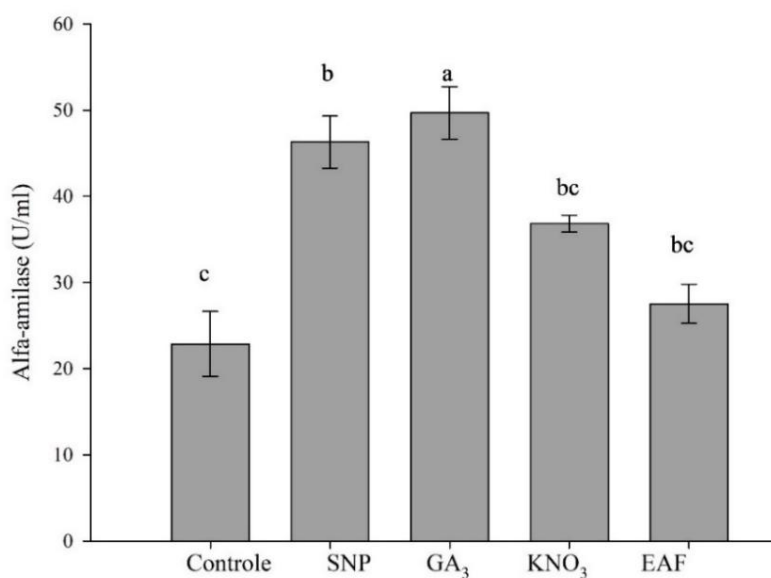
Figura 7- Atividade da superóxido dismutase (SOD) e atividade da catalase (CAT) em sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 0,1 μM (SNP), ácido giberélico 1,5 μM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Através das análises da enzima alfa-amilase, verificou-se que o tratamento das sementes com GA₃ durante o condicionamento resultou em maior atividade dessa enzima, seguido pelo tratamento com SNP. Os tratamentos com nitrato de potássio KNO₃ e EAF não afetaram a atividade da alfa-amilase em comparação ao controle (Figura 5).

Figura 5- Atividade de alfa-amilase em sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 0,1 μM (SNP), ácido giberélico 1,5 μM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

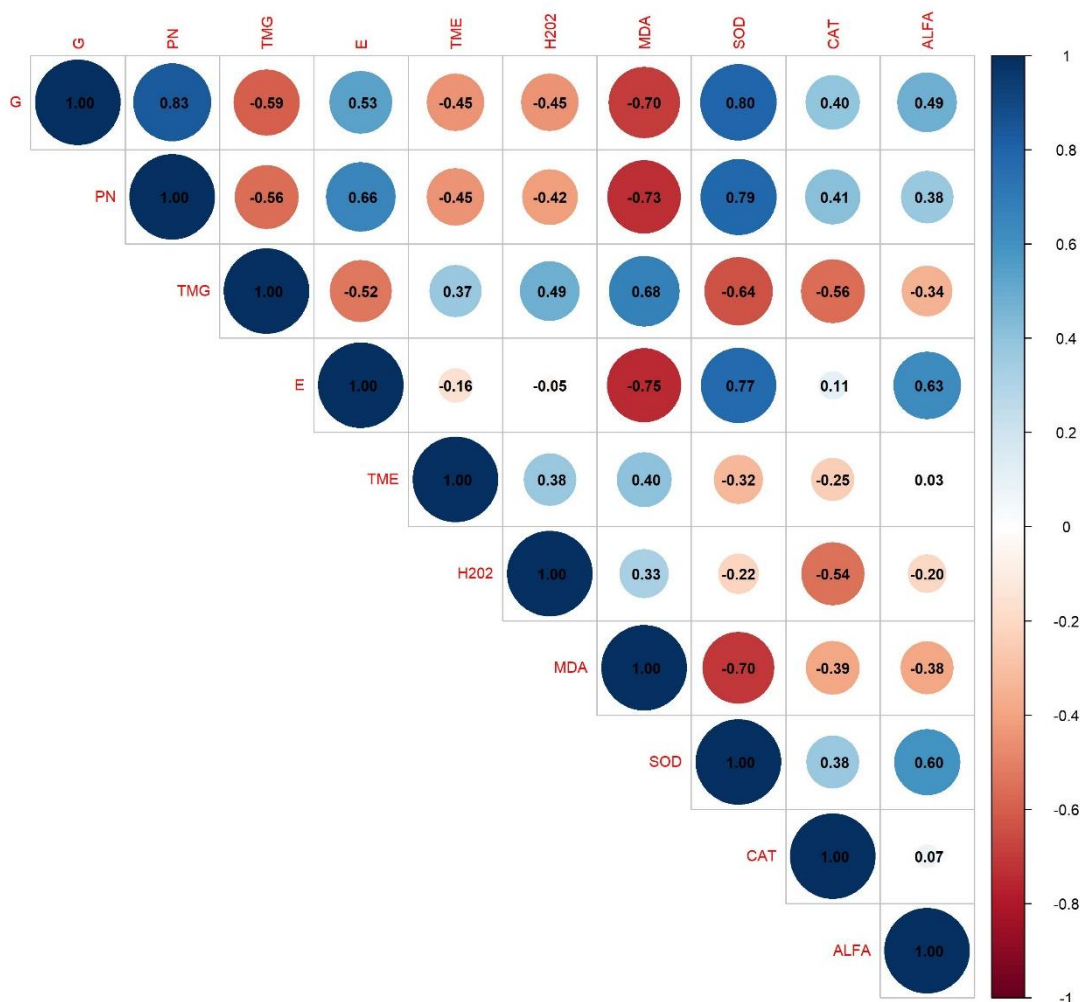


Fonte: Da autora (2025)

Pela análise de correlação de *Pearson* (Figura 9), foi possível observar correlações

significativas entre variáveis fisiológicas e bioquímicas envolvidas na germinação e no crescimento inicial das plântulas. Tanto a germinação ($r = 0,80$) quanto a emergência ($r = 0,77$) (E) apresentou forte correlação positiva com a atividade da enzima superóxido dismutase SOD. O malondialdeído (MDA), indicador de peroxidação lipídica, apresentou correlação negativa com a germinação ($r = -0,70$), porcentagem de plântulas normais ($r = -0,73$) e emergência ($r = -0,75$), evidenciando que o estresse oxidativo reduziu a viabilidade e o vigor das plântulas.

Figura 9 - Análise de correlação de Pearson dos índices, fisiológicos e bioquímicos em sementes de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 0,1 μ M (SNP), ácido giberélico 1,5 μ M (GA3) nitrato de potássio 1,0% (KNO3), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF).



G = germinação; PN = plântulas normais; TMG = tempo médio de germinação; E= emergência; TME= tempo médio de emergência; H₂O₂ = peróxido de hidrogênio; MDA = malondialdeído; SOD = superóxido dismutase; CAT = catalase; ALFA= Alfa-amilase

Fonte: Da autora (2025).

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂), considerado uma espécie reativa de oxigênio (EROs),

é gerado naturalmente durante a absorção de água no início da germinação e que precisa ser regulado. A sua acumulação excessiva pode acelerar a deterioração das sementes e reduzir a eficiência germinativa, especialmente em condições de estresse (Wojtyla *et al.*, 2016).

Nesse estudo foi possível observar que sementes que passaram por condicionamento foram capazes de reduzir o conteúdo de peróxido de oxigênio. Entretanto, não foi possível afirmar que essa redução está relacionada ao aumento na porcentagem de germinação como observado na figura 9, uma vez que não houve correlação entre os dados de H_2O_2 com a porcentagem de germinação e emergência das sementes.

O MDA é um subproduto da peroxidação lipídica, que ocorre quando os lipídios das membranas celulares são oxidados por espécies reativas de oxigênio (EROs), como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Altos níveis de MDA indicam que houve danos às membranas, resultando em comprometimento da integridade celular e da viabilidade da semente. Quando analisado o conteúdo de MDA foi possível afirmar que, o condicionamento geralmente melhora a capacidade antioxidante das sementes, ajudando a reduzir os níveis de peroxidação lipídica (Figura 9). Foram observadas correlações negativas significativas do MDA com germinação ($r = -0,70$), porcentagem de plântulas normais ($r = -0,73$) e emergência ($r = -0,75$). De acordo com Mulaudzi *et al.*, (2023), isso pode ocorrer devido ao efeito do condicionamento, que pode diminuir o dano oxidativo, contribuindo para a preservação das membranas e, portanto, uma melhora na taxa de germinação.

Pesquisas indicam que o nitroprussiato de sódio, atuando como doador de óxido nítrico (NO), exerce efeito protetor ao induzir o aumento da atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) (Kumari *et al.*, 2010).

Em estudo com sementes de algodão, foi observado que quando as sementes foram condicionadas em SNP, houve redução no conteúdo de MDA e aumento da germinação e no crescimento das mudas (Guaraldo, *et al.*, 2023).

A SOD atua na conversão de radicais superóxidos nocivos em moléculas menos prejudiciais, como o H_2O_2 aumentando assim a tolerância das sementes ao estresse. Esse aumento na atividade de SOD está ligado à melhoria da redução de espécies reativas de oxigênio (EROs), reduzindo os danos aos componentes celulares causados pelo estresse oxidativo.

Os resultados evidenciaram uma correlação positiva significativa entre a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) e os parâmetros fisiológicos das sementes, com coeficientes de correlação de $r = 0,80$ para germinação (G), $r = 0,77$ para emergência (E) e $r = 0,79$ para o número de plântulas normais, esses valores indicaram que ocorreu a ativação dos mecanismos antioxidantes o que contribuiu diretamente para a melhoria da qualidade

fisiológica das sementes submetidas ao condicionamento, favorecendo o desempenho germinativo e o estabelecimento inicial das plântulas em comparação ao controle.

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2019), foi observada maior atividade de superóxido dismutase em sementes condicionadas com SNP em comparação às não condicionadas. Bastos *et al.* (2023), também encontraram maior atividade de SOD em sementes de *Senna macranthera* tratadas com EAF em relação às não condicionadas e embebidas em H₂O.

A catalase é uma enzima intracelular, encontrada nos glioxissomos das células vegetais, que atua na desintoxicação, convertendo ROS em componentes não reativos e decompondo H₂O₂ (Paul e Roychoudhury, 2017). A CAT é uma enzima essencial, que protege contra danos causados por atividades de ROS em sementes envelhecidas submetidas a tratamentos de condicionamento (Kibinza *et al.*, 2011).

Além da proteção em sementes durante o envelhecimento, a CAT também atua durante a germinação e sua atividade pode ser afetada pelo tratamento. Nesse estudo a catalase apresentou correlação negativa significativa ($r=-0,56$) apenas com o tempo médio de germinação (TMG).

Pela análise da enzima alfa-amilase, verificou-se que o tratamento das sementes com GA₃ resultou em atividade dessa enzima, seguido pelo tratamento com SNP, entretanto apenas o valor de emergência foi correlacionado com a atividade da enzima com correlação positiva significativa ($r=0,63$).

A coincidência do aumento da germinação de sementes com a atividade aumentada da α -amilase implica o papel da hidrólise do amido e, por sua vez, a disponibilidade de açúcares mobilizáveis na promoção do processo de germinação, como é relatada por (Kumar *et al.*, 2024).

Nos resultados encontrados na pesquisa, as sementes condicionadas tanto no GA₃ quanto o SNP apresentaram maior atividade enzimática, o GA₃ regula a síntese de alfa-amilase, promovendo a ativação das enzimas que degradam o amido, o mesmo foi encontrado por (Krishan *et al.*, 2022) em sementes de *Phytolacca acinosa*.

3.4. Armazenamento de sementes condicionadas

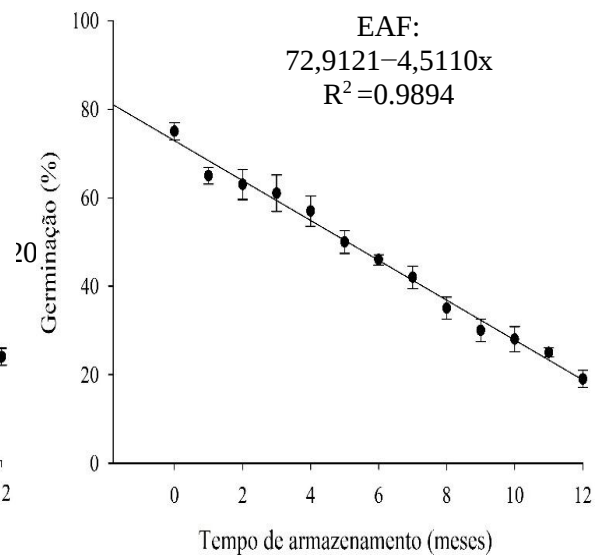
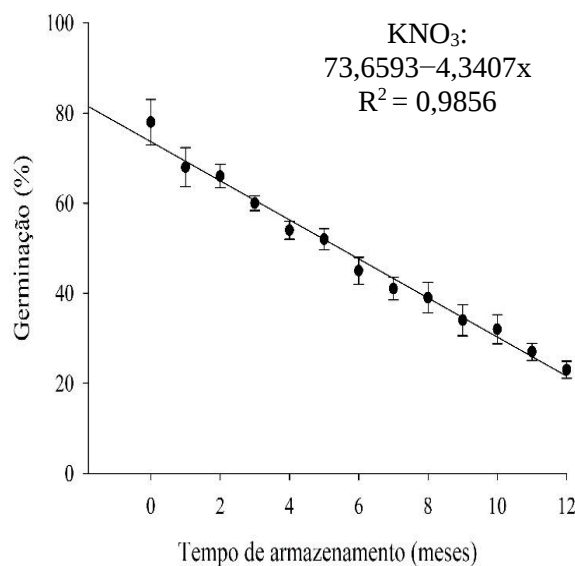
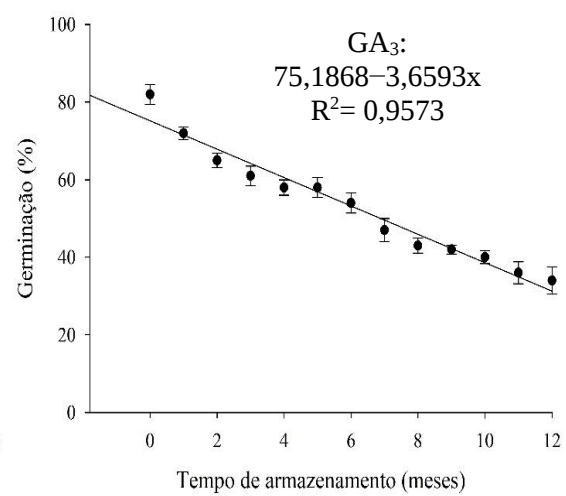
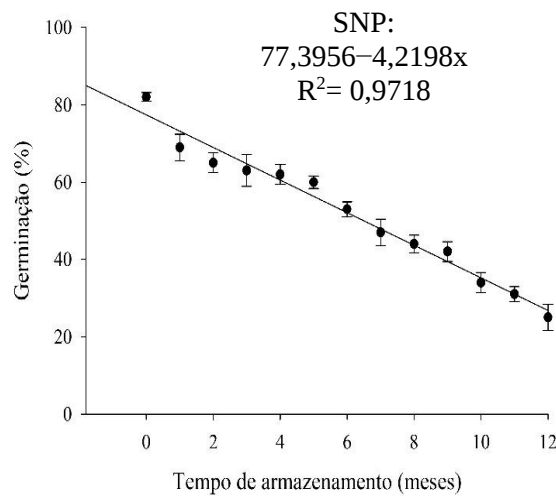
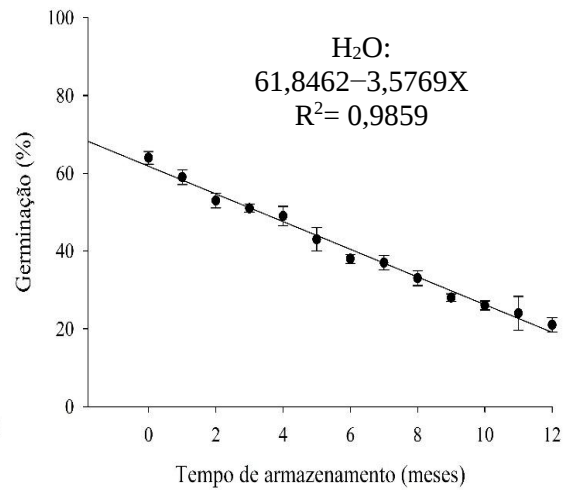
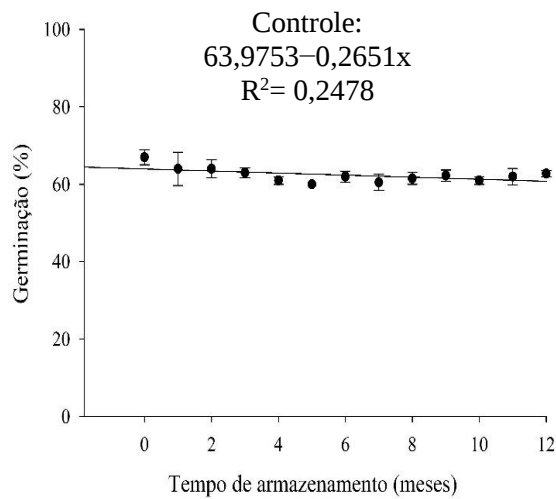
Durante o armazenamento das sementes condicionadas verificou-se efeito significativo ($P<0,01$) dos tratamentos de condicionamento e do tempo de armazenamento das sementes e a interação entre esses fatores foi significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para a taxa de germinação de sementes de *Senna multijuga* submetidas a diferentes tratamentos de condicionamento fisiológico (controle, hidrocondicionamento, SNP, GA₃, KNO₃ e EAF), avaliados ao longo de 12 meses de armazenamento.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	5	14327	2,865	118,9	<0,001
Tempo	12	51913	4,326	174,7	<0,001
Tratamento × Tempo	60	10000	166,6	6,732	7,54 e ⁻¹²
Resíduos	234	5793	24,5		
Total	311	82429			
CV		9,9%			

A partir de análises de regressão (Figura 10) foi possível observar que sementes condicionadas apresentaram redução na germinação após o armazenamento, indicando que condicionar as sementes dessa espécie e armazená-las não é recomendável. O controle apresentou a menor taxa de redução da germinação, sugerindo menor perda da viabilidade em comparação aos demais tratamentos. Entre os tratamentos testados, o condicionamento com EAF foi o que resultou em maior redução de germinação ao longo do armazenamento, seguido pelo condicionamento com KNO₃ e SNP.

Figura 10. Análise de regressão polinomial para a germinação de sementes de sementes de *Senna multijuga* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 0,1 µM (SNP), ácido giberélico 1,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 1,0% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,8% (EAF) armazenadas por 12 meses.



Embora o condicionamento fisiológico ofereça benefícios para a germinação e o vigor das sementes a curto prazo, o armazenamento por 12 meses pode comprometer sua viabilidade, resultando em uma redução significativa da capacidade germinativa.

Verificou-se, pela análise de regressão que o uso do condicionamento resultou em redução da germinação, evidenciando uma perda gradual do potencial fisiológico de sementes de *Senna multijuga* após o condicionamento.

Dessa forma, recomenda-se que as sementes sejam utilizadas o mais rápido possível após o condicionamento, a fim de maximizar seus benefícios e evitar perdas na qualidade fisiológica.

4. CONCLUSÕES

O condicionamento fisiológico em sementes de *Senna multijuga* com GA₃ e SNP melhora o desempenho germinativo, com maior porcentagem de germinação, plântulas normais, emergência em sementeira.

Os efeitos dos condicionamentos fisiológico obtidos com GA₃ e SNP estão associados a menor produção de H₂O₂ e MDA, além de estar associado a atuação a enzima do sistema antioxidante - SOD.

Sementes de *Senna multijuga* perdem a viabilidade durante o armazenamento após o condicionamento.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, K *et al.* The effect of salicylic acid and potassium nitrate on germination characteristics, photosynthetic pigments and seedling proline seedlings of two safflower cultivars under salinity stress. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 15, n. 1, p. 247-257, 2022. Doi.org/10.22077/escs.2020.3593.1882
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004. Doi.org/10.1079/SSR2004159
- BASTOS, L. L. S *et al.* Germination of *Senna macranthera* (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby in response to heat and smoke. **South African Journal of Botany**, v. 154, p. 219–224, 2023. Doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.032
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2013.
- DU, G *et al.* Effects of gibberellin pre-treatment on seed germination and seedling physiology characteristics in industrial hemp under drought stress condition. **Life**, v. 12, p. 1907, 2022. Doi.org/10.3390/life12111907.

EBADIE, A. *et al.* Effect of seed priming with KNO₃ on seedling vigour index in seed aged of *Silybum marianum*. **Journal of Plant Research** (Iranian Journal of Biology), v. 29, n. 3, p. 553-566, 2016

El-Shazoly, R.M *et al.* Individual or successive seed priming with nitric oxide and calcium toward enhancing salt tolerance of wheat crop through early ROS detoxification and activation of antioxidant defense. **BMC Plant Biol** 24, 730 (2024). Doi.org/10.1186/s12870-024-05390-0

FAROOQ, M *et al.* Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop and Pasture Science**, v. 70, p. 731–771, 2019. Doi.org/10.1071/CP18604.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, fev. 2016. Doi.org/10.1093/jxb/erv490.

FLEMATTI, G. R *et al.* Butenolide from plant-derived smoke functions as a strigolactone analogue: evidence from parasitic weed seed germination. **Plant Growth Regulation**, v. 74, n. 1, p. 116-120, 2013. Doi.org/10.1016/j.plant.2012.06.005.

GIANNOPOLITE, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. Doi.org/10.1104/pp.59.2.309.

GOVINDARAJ, M *et al.* Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: a review. **Agricultural Reviews**, v. 37, p. 87–100, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18805/ar.v37i2.10735>

GUARALDO, M. M. S. *et al.* Priming with sodium nitroprusside and hydrogen peroxide increases cotton seed tolerance to salinity and water deficit during seed germination and seedling development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 209, p. 105294, 2023.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>.

HODGES, D *et al.* Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Plants**, v. 207, n. 1, p. 604–611, 1999. DOI: 10.1007/s004250050524.

JABEEN, Z. *et al.* Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. **Plos One**, v. 16, n. 4, e0248207, 2021.

JOSÉ, A. C. *et al.* Influence of priming on Eucalyptus spp. seeds' tolerance to salt stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 4, p. 329-334, 2016

Kara Z., Doğan O., Vergili E. Effects of sodium nitroprusside and gibberellin on seed germination and development of grapevine seedlings (*Vitis vinifera* L.) Cvs. Ekşi Kara e Gök Üzümleri. **Erwerbs-Obstbau**. 2020; 62 :61–68. doi: 10.1007/s10341-020-00497-8.

KIBINZA, S *et al.* Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. **Plant Science**, v. 181, n. 3, p. 309–315, 2011. DOI: 10.1016/j.plantsci.2011.06.003

Krishan, R *et al.* Assessment of seed biology of the Himalayan medicinal herb *Phytolacca acinosa* Roxb., the Indian pokeweed, from the perspective of longevity, conservation and propagation. **Nucleus** 65, 331–339, 2022. Doi.org/10.1007/s13237-022-00404-4

KUMAR, V. *et al.* Influence of seed pre-treatment and storage on germination and physiological characteristics of seeds of common mullein (*Verbascum thapsus* L.). **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 43, p. 100573, 2024. Doi.org/10.1016/j.jarmap.2024.100573.

KUMARI, A *et al.* Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long-term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 4, p. 271–284, 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. NovaOdessa: Plantarum, 1992.

MACOVEI, A. *et al.* Systems biology and genome-wide approaches to unveil the molecular players involved in the pre-germinative metabolism: implications on seed technology traits. **Plant Cell Reports**, v. 36, n. 5, p. 669–688, 2017. Doi.org/10.1007/s00299-016-2060-5.

MULAUDZI, T. *et al.* Seed priming with MeJa prevents salt-induced growth inhibition and oxidative damage in Sorghum bicolor by inducing the expression of jasmonic acid biosynthesis genes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 10368, 2023. Doi.org/10.3390/ijms241210368.

NAWAZ, F. *et al.* Seed priming with KNO₃ mediates biochemical processes to inhibit lead toxicity in maize (*Zea mays* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 97, n. 14, p. 4780–4789, 2017.

PEREIRA, T. M *et al.* Does nitric oxide protect Eucalyptus urophylla seeds under salt stress conditions? **Journal of Seed Science**, v. 42, e202042041, 2020. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42236272>.

PEREIRA, A. A. S *et al.* Can priming with ascorbic acid or nitric oxide improve the germinability of stored sunflower seeds. **Journal of seed science**, v. 44, p. 1, 2022.

PAUL, S. *et al.* Seed priming with spermine and spermidine regulates the expression of diverse groups of abiotic stress-responsive genes during salinity stress in the seedlings of indica rice varieties. **Plant Gene**, v. 11, p. 124–132, 2017. Doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.004.

PIVETA, G *et al.* Overcoming dormancy in seed and seedling quality: influence on the production of Senna multijuga (L. C. Rich.) Irwin & Barneby. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 281–288, 2010. Doi.org/10.1590/S0044-59672010000200006.

RIBEIRO, E. C. G. *et al.* Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, 2019

RYU, H.; CHO, Y. G. Plant hormones in salt stress tolerance. **Plant Biotechnology Reports**, v. 9, n. 2, p. 147–155, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12374-015-0103-z>.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Análise da germinação: um enfoque estatístico. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 247–248 p. ISBN 8523007911, 2004.

SILVA, A. L. *et al.* Salinity tolerance in *Senna macranthera* (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby seeds promoted by sodium nitroprusside (SNP)-derived cyanide. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 323–330, 2018.

SILVA, A. L. *et al.* Effect of cyanide by sodium nitroprusside (SNP) application on germination, antioxidative system and lipid peroxidation of *Senna macranthera* seeds under saline stress. **Journal of Seed Sciences**, v. 41, p. 86–96, 2019.

SANZ L. *et al.* Nitric oxide (NO) and phytohormone crosstalk during early plant development. **J. Exp. Robô**. V. 66 :2857–2868. 2015. doi: 10.1093/jxb/erv213.

SHAH, S. H. *et al.* Ácido giberélico: um regulador versátil do crescimento, desenvolvimento e respostas ao estresse das plantas. **J Plant Growth Regul**, v. 42, 7352–7373 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11035-7>

VELIKOVA, V *et al.* Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59–66, 2000. Doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1.

VOKO, M. P *et al.* Seed priming with vermicompost leachate, *Ecklonia maxima* extract-Kelpak® and smoke-water induce heat stress amelioration and growth in *Vigna unguiculata* L. seedlings. **South African Journal of Botany**, v. 147, p. 686-696, 2022. Doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.025.

Xia, J *et al.* Priming de sementes com ácido giberélico regula a germinação de sementes de algodão em condições de baixa temperatura. **J Plant Growth Regul** 42, 319–334 2023. Doi.org/10.1007/s00344-021-10549-2

XU, L. *et al.* Timing for antioxidant preparation against seed aging in rice: ideal only in the non-tolerant stage. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 2020. Doi.org/10.1038/s41598-020-70189-6.

WOJTYLA, Ł. *et al.* Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 66, 2016. Doi.org/10.3389/fpls.2016.00066.

ZENG, H. *et al.* Seed-soaking with melatonin for the improvement of seed germination, seedling growth, and the antioxidant defense system under flooding stress. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1918, 2022. Doi.org/10.3390/agronomy12081918

CAPÍTULO 4: Condicionamento de sementes de *Solanum granulosoleprosum* Dunal: alterações fisiológicas e bioquímicas.

RESUMO

A degradação das áreas de Cerrado no Brasil reforça a necessidade de estratégias para restauração ambiental, incluindo o uso de espécies nativas, como *Solanum granulosoleprosum*. No entanto, a baixa taxa de germinação e a desuniformidade do desenvolvimento das plântulas limitam o potencial dessa espécie para revegetação. O presente estudo avaliou os efeitos do condicionamento fisiológico sobre a germinação, o crescimento inicial e a viabilidade pós-armazenamento das sementes de *S. granulosoleprosum*, com ênfase nos impactos fisiológicos e bioquímicos desse tratamento. As sementes foram submetidas a seis tratamentos: controle, hidrocondicionamento (H₂O), ácido giberélico (GA₃ 2,5 µM), nitroprussiato de sódio (SNP 10 µM), nitrato de potássio (KNO₃ 2,5% p/v) e extrato aquoso de fumaça (EAF 2:100 v/v). O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento. Foram avaliadas a germinação, emergência em viveiro, tempo médio de germinação (TMG) e emergência (TME), além das atividades bioquímicas de enzimas antioxidantes (SOD e CAT), peroxidação lipídica (MDA) e alfa-amilase. Os tratamentos com GA₃, SNP e EAF promoveram maior taxa de germinação e vigor das plântulas, reduzindo significativamente o TMG e o TME. Esses tratamentos também aumentaram a atividade da CAT, reduzindo os danos oxidativos associados à peroxidação lipídica. A maior atividade de alfa-amilase foi observada no tratamento com GA₃, indicando influência na mobilização de reservas para a germinação. O condicionamento com KNO₃ apresentou efeito positivo, porém inferior aos demais tratamentos, enquanto o hidrocondicionamento não diferiu do controle. O armazenamento das sementes condicionadas resultou em redução progressiva da viabilidade, com impacto mais acentuado quando as sementes foram condicionadas com SNP e hidrocondicionamento. Os dados indicam que o condicionamento melhora a germinação e o vigor inicial das plântulas, mas compromete a longevidade das sementes. Recomenda-se que a semeadura ocorra logo após o condicionamento para preservar os benefícios do tratamento.

Palavras chave: armazenamento; enzimas; potencial germinativo

Seed priming in *Solanum granulosoleprosum* Dunal: physiological and biochemical changes

ABSTRACT

The degradation of Cerrado areas in Brazil reinforces the need for environmental restoration strategies, including the use of native species such as *Solanum granulosoleprosum*. However, the low germination rate and uneven development of seedlings limit the potential of this species for revegetation. The present study evaluated the effects of physiological conditioning on the germination, initial growth, and poststorage viability of *S. granulosoleprosum* seeds, with an emphasis on the physiological and biochemical impacts of this treatment. The seeds were subjected to six treatments: control, hydroconditioning (H₂O), gibberellic acid (GA₃ 2.5 µM), sodium nitroprusside (SNP 10 µM), potassium nitrate (KNO₃ 2.5% w/v), and aqueous smoke extract (AES 2:100 v/v). The design was completely randomized, with four replicates per treatment. Germination, emergence in the nursery, mean germination time (MGT) and mean emergence time (MET) were evaluated, in addition to the biochemical activities of antioxidant enzymes (SOD and CAT), lipid peroxidation (MDA) and alpha-amylase. The GA₃, SNP, and EAF treatments promoted relatively high germination rates and seedling vigor, significantly reducing the MGT and MET. These treatments also increased CAT activity, reducing oxidative damage associated with lipid peroxidation. The highest alpha-amylase activity was observed in the GA₃ treatment, indicating an influence on the mobilization of reserves for germination. Conditioning with KNO₃ had a positive effect, but it was lower than that of the other treatments, while hydroconditioning did not differ from the control. Storage of the conditioned seeds led to a gradual reduction in viability, with a more pronounced impact when the seeds were conditioned with SNP and hydroconditioning. These data indicate that conditioning improves germination and initial seedling vigor but compromises seed longevity. Sowing is recommended to occur immediately after conditioning to preserve the benefits of the treatment.

Keywords: storage; enzymes; germination potential

1. INTRODUÇÃO

A vegetação nativa tem sido historicamente reduzida principalmente devido aos impactos provocados pelas atividades humanas, como a exploração de recursos naturais. (Silva *et al.*, 2024) e a necessidade de conservação dos diversos biomas brasileiros representa um desafio significativo para a sociedade. Considerado um dos hotspots mundiais da biodiversidade e a savana mais diversa do mundo, o Cerrado recebe pouca atenção quanto à sua conservação (Oliveira e Marquis 2002; Mittermeier *et al.*, 2005).

Diversas espécies podem ser utilizadas para a revegetação de áreas do Cerrado que passaram por processo de degradação ambiental. Dentre elas, a espécie *Solanum granulosoleprosum* (Davide *et al.*, 1995), uma espécie arbórea de pequeno porte, com altura variando entre 4 e 6 metros (Vallés *et al.*, 2008).

Dada sua importância para a recuperação de áreas degradadas, é necessário o desenvolvimento de estudos para investigar o comportamento fisiológico de sementes dessa espécie, visto que suas sementes apresentam baixa germinação, lenta e desuniforme. A germinação geralmente ocorre durante 30 dias (Castellani, 2009).

O condicionamento fisiológico é uma técnica que tem sido amplamente utilizada para melhoria do desempenho das sementes. Constitui-se numa técnica de hidratação e secagem controladas, que ativa o metabolismo pré-germinativo estimulando a germinação rápida de sementes quando reidratadas (Dawood, 2018). Além disso, essa técnica pode melhorar a velocidade e sincronicidade da germinação, o vigor (Penido *et al.*, 2021) o crescimento de mudas em condições normais e estressadas (Waqas *et al.*, 2019).

De maneira similar, o nitrato de potássio (KNO_3) desempenha um papel fundamental como molécula sinalizadora, sendo amplamente utilizado para potencializar o vigor das sementes e fortalecer sua resistência a estresses ambientais, como déficit hídrico e salinidade do solo (Castronuovo *et al.*, 2024). Durante o condicionamento de sementes de cenoura, foi verificado aumento na atividade de enzimas antioxidantes tais como a catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) quando as plantas foram submetidas a condições de estresse (Mahmood ur Rehman *et al.*, 2024).

Outro composto muito utilizado durante o condicionamento de sementes é o nitroprussiato de sódio (SNP). Um doador de óxido nítrico capaz eliminar espécies reativas de oxigênio (EROs), como ânions superóxido e radicais derivados de lipídios; além de estimular enzimas antioxidantes, reduzindo danos oxidativos (Nabaei e Amooaghaie, 2019). Os efeitos positivos do condicionamento utilizando SNP mostram que esse doador de óxido nítrico aumenta a tolerância a salinidade em plantas de Solanaceae, regulando características

fisiológicas e histológicas para reduzir o efeito negativo desse estresse em células vegetais (Coban, 2023).

As giberelinas são hormônios vegetais que desempenham papel fundamental na germinação de sementes. O GA₃ tem sido usado no condicionamento de sementes, afetando de forma positiva a germinação, além de induzir resistência ao estresse em várias culturas, melhorando o crescimento e desenvolvimento e reduzindo danos oxidativos (Mohammed *et al.*, 2023; Ji *et al.*, 2015; Uzal e Yasar, 2017; Saleem *et al.*, 2020).

O extrato aquoso de fumaça (EAF) é um composto obtido pela queima de resíduos vegetais. Contém uma série de compostos bioativos, e tem sido usado para indução da germinação de várias espécies (Flematti *et al.*, 2019). Os principais efeitos do EAF na germinação de sementes são o aumento na porcentagem de germinação e ativação do sistema de defesa antioxidante contra o estresse oxidativo (Ofue *et al.*, 2022).

Apesar dos benefícios do condicionamento como, aumentar a germinação das sementes, esses tratamentos podem reduzir a longevidade ou a capacidade de armazenamento das sementes, ou seja, o período total durante o qual as sementes permanecem viáveis (Liu *et al.*, 1996). As sementes preparadas estão em um estado fisiológico mais avançado em termos do processo de germinação em comparação com as sementes que não foram preparadas e são, portanto, mais suscetíveis à deterioração (Varierl *et al.*, 2010). A perda de longevidade após o condicionamento é uma desvantagem para a distribuição comercial de sementes de alta qualidade.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do condicionamento fisiológico na germinação das sementes e no crescimento das plântulas de *Solanum granulosoleprosum*, as respostas das sementes condicionadas em relação ao estresse oxidativo, utilizando análises bioquímicas e avaliações de características fisiológicas e avaliar a perda da capacidade de armazenamento das sementes após o condicionamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condições de armazenamento

Todos os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Sementes Florestais e no Viveiro Florestal, ambos do Departamento de Ciências Florestais e no Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas no Departamento de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) localizada no estado de Minas Gerais. As sementes de *Solanum granulosoleprosum* coletadas em 2016, estavam armazenadas em câmara fria (6 a 8

°C e 40% UR, em saco de polietileno).

2.2. Condicionamento fisiológico e condições experimentais

O experimento de condicionamento fisiológico da *Solanum granulosoleprosum* foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) composto por seis tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos testados foram: controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento, GA₃ (2,5 µM), SNP (10 µM), KNO₃ (2,5% p/v) e EAF (2%). As concentrações utilizadas em cada condicionante foram selecionadas a partir de testes prévios. O extrato de fumaça foi obtido por meio da condensação de gases da carbonização de folhas e galhos de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados duzentos gramas de material vegetal, que foi colocado em um recipiente metálico com mangueiras acopladas a um frasco contendo água destilada. Após o início da combustão, a fumaça foi bombeada à força por uma bomba manual para impulsionar os gases da combustão para o fundo do frasco com água destilada até que todo o conteúdo fosse consumido pelo fogo. Após as devidas diluições, foram realizadas medições de pH usando um medidor de pH, e em todas as concentrações, o pH variou de 6,6 a 7,1. O frasco contendo o extrato aquoso de fumaça foi fechado e armazenado a 10°C no escuro até o uso.

Antes dos tratamentos as sementes foram desinfetadas com solução detergente 5 gotas/100ml de água destilada por 5 minutos (Brasil, 2013) e condicionadas por 48 horas a 10 °C, na ausência de luz, em placas de Petri sobre papel de germinação. Após o condicionamento, as sementes foram lavadas com água destilada e submetidas à secagem (20 °C, 10% UR), em recipiente contendo sílica gel, até atingirem o conteúdo de água anterior ao condicionamento. As sementes foram dispostas em placas de Petri com papel de germinação umedecido com água destilada, em quatro repetições de 25 sementes cada. As placas foram incubadas em câmara de germinação, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura alternada 20-30 °C. A germinação foi avaliada diariamente contabilizando-se o número de sementes germinadas (protusão de radícula) e ao final de 30 dias o número de plântulas normais, anormais, sementes mortas e duras. Foi realizado o cálculo do tempo médio de germinação (TMG) pela equação proposta por Santana et al. (2004).

2.3. Emergência de plântulas em condição de viveiro.

As sementes condicionadas também foram testadas em condições de viveiro. Para isso, foi realizada a semeadura em sementeiras com dimensões de 80 x 200 cm, contendo como

substrato areia lavada. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com irrigação aplicada duas vezes ao dia. A contagem da emergência das plântulas foi realizada diariamente, sempre no mesmo horário. A contagem das plântulas emergidas foi realizada no momento que o cotilédone rompeu a superfície do substrato. Após um período de 30 dias, as plântulas foram removidas das sementeiras para a avaliação do comprimento da parte aérea e do sistema radicular. Para tal, foram selecionadas aleatoriamente 40 plântulas por tratamento. O excesso de areia presente no sistema radicular foi cuidadosamente removido e as plântulas foram dispostas em bandejas com papel umedecido, a fim de evitar a perda de turgor até o momento da avaliação. As plântulas foram colocadas sobre papel milimetrado, fotografadas e as imagens foram analisadas no software ImageJ para determinação do comprimento de parte aérea, raiz e total.

2.4. Armazenamento de sementes condicionadas

Após o condicionamento e secagem, as sementes foram acondicionadas em tubos de plástico e armazenadas em freezer a uma temperatura de -20 °C. Para cada tratamento, foram preparadas 12 amostras, cada uma contendo 100 sementes. A cada mês, uma amostra de cada tratamento foi retirada para avaliação da viabilidade pela germinação.

2.5. Análises bioquímicas

Para a realização das análises bioquímicas, as sementes previamente condicionadas e secadas foram maceradas em nitrogênio líquido. Foram utilizados 100 mg de sementes maceradas para extração do conteúdo de MDA, H_2O_2 , e para extração das enzimas (SOD, CAT e Alfa-amilase). As amostras foram armazenadas em ultrafreezer (-80 °C) até o momento das análises. Para as análises de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), utilizou-se polivinilpolipirrolidona (PVPP) como agente adsorvente. Sementes que foram tratadas com hidrocondicionamento não foram incluídas nas análises bioquímicas, uma vez que não foram diferenças significativas nas análises fisiológicas para esse tratamento.

2.6. Peroxidação lipídica e quantificação de peróxido de hidrogênio

A peroxidação lipídica foi quantificada por meio da determinação dos níveis de malondialdeído (MDA), conforme descrito por Hodges *et al.*, (1999). Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de etanol a 80%, sendo posteriormente centrifugadas e o sobrenadante coletado. Este

procedimento foi repetido três vezes, resultando em um volume final de 3 mL. A reação foi conduzida com 1 mL do extrato e 1 mL de uma solução composta por ácido tricloroacético (TCA) a 20%, ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,65% e butil-hidroxitolueno (BHT) a 0,01%. A peroxidação lipídica foi estimada pela leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 440, 532 e 600 nm. A quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguiu o protocolo de Velikova et al. (2000). Para isso, 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de TCA a 0,1%. Após centrifugação, o sobrenadante foi colocado para reação em tampão fosfato de potássio 10 mM (KH_2PO_4) pH 7,0 e iodeto de potássio (KI). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm, utilizando uma curva padrão para a quantificação do H_2O_2 .

2.7.Enzimas do sistema antioxidante

A atividade do sistema antioxidante enzimático, incluindo superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), foi avaliada em sementes secas após o condicionamento fisiológico. Os extratos enzimáticos foram preparados conforme o protocolo descrito por Biemelt et al. (1998), onde 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido na presença de polivinilpirrolidona (PVPP), sendo adicionados 1,5 mL de tampão de extração composto por fosfato de potássio 400 mM (pH 7,8), EDTA 10 mM e ácido ascórbico 200 mM. A mistura foi centrifugada a 13.000 g por 10 minutos a 4 °C, e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação das atividades enzimáticas. A atividade da SOD foi determinada pela capacidade da enzima de inibir a fotorredução do nitroblue tetrazolium (NBT), conforme Giannopolitis e Ries (1977). As leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm. A atividade da CAT foi realizada de acordo com Havir e McHale (1987), baseada na redução da absorbância a 240 nm, monitorada a cada 15 segundos durante 3 minutos, devido à decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

2.8.Extração e quantificação de Alfa-amilase

Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido. A cada amostra foi adicionado 1 mL de água destilada gelada para a extração enzimática. A mistura foi mantida em banho de resfriamento a 4 °C por 10 minutos e em seguida foi centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante resultante foi utilizado como extrato bruto. A atividade da α -amilase foi quantificada utilizando uma versão modificada do

método do ácido 3,5-dinitrosalicílico, conforme descrito por Miller (1959). O extrato enzimático bruto foi aquecido por 15 minutos a 70 °C. Em seguida, 1 mL do extrato foi misturado com 1 mL de amido solúvel a 1%, dissolvido em tampão acetato de sódio (pH 5,6). A mistura foi incubada por 15 minutos a 40 °C e, em seguida, fervida por 5 minutos na presença de 2 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico. A quantidade de açúcares redutores liberados foi determinada por espectrofotometria UV-visível a 540 nm, utilizando maltose como padrão de açúcares redutores.

2.9. Análise dos dados

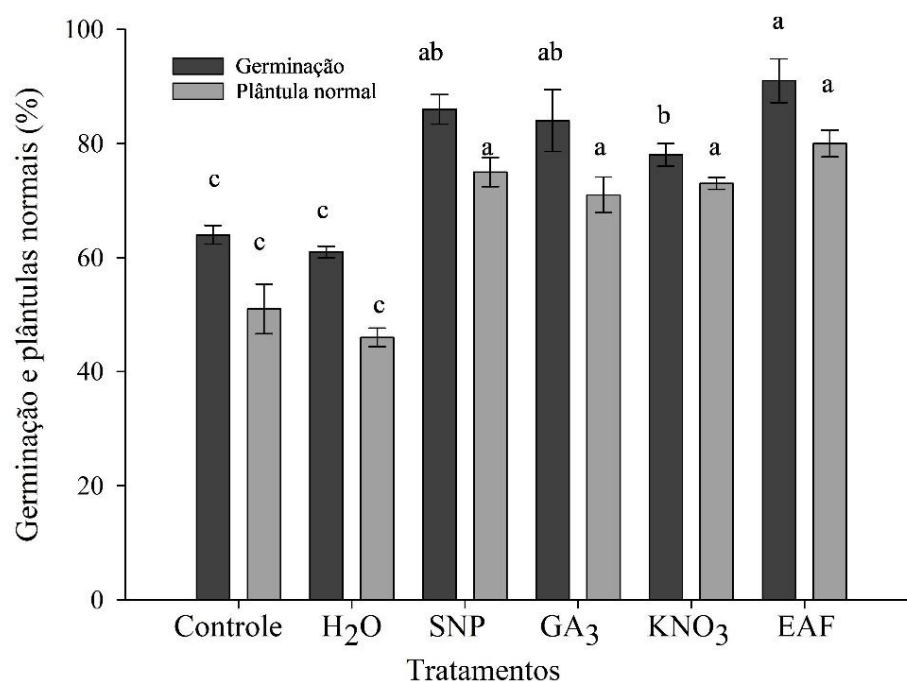
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, para análise de germinação em laboratório e análises bioquímicas, enquanto a emergência em viveiro foi conduzida em um delineamento em blocos casualizados. Os dados foram testados quanto à normalidade utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) e homoscedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0.05$) e submetidos à ANOVA onde foi selecionado o teste de médias de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote de *software* RStudio. Posteriormente, foi avaliada a correlação entre as variáveis fisiológicas e bioquímicas por meio da correlação de *Pearson*. Para os dados de armazenamento foram realizadas análises de regressão linear, também utilizando o pacote de *software* RStudio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condicionamento fisiológico

Foram observados efeitos significativos ($p < 0.05$) dos diferentes tratamentos em relação a germinação. Sementes condicionadas em nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA_3), nitrato de potássio (KNO_3) e extrato aquoso de fumaça (EAF) apresentaram valores superiores aos observados no controle e sementes hidrocondicionadas. Quando analisadas plântulas normais, não foi observado diferença entre os condicionantes (Figura 1).

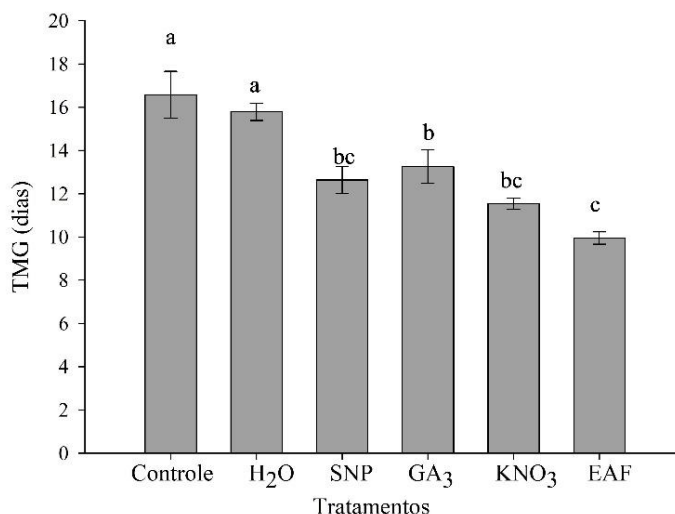
Figura 1- Porcentagem de germinação e plântulas normais de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O) nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Da mesma forma que para a germinação, foram observados efeitos significativos do condicionamento com SNP, GA₃, KNO₃ e EAF na velocidade de germinação analisada pelo tempo médio de germinação (TMG). Sementes condicionadas nesses compostos germinaram mais rápido quando comparado ao controle e sementes hidrocondicionadas (Figura 2).

Figura 2- Tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

O uso de extrato aquoso de fumaça (EAF) em sementes de *Solanum granulosoleprosum*, uma espécie nativa e frequentemente encontrada no bioma Cerrado, apresentou resultados promissores em termos de aumento na germinação e desenvolvimento das plântulas. Esses achados são próximos com os resultados relatados por Zironi *et al.*, (2019), que demonstraram que a combinação de extratos de fumaça com tratamentos de altas temperaturas promoveu melhorias significativas tanto na germinação quanto no vigor das plântulas em diversas espécies do Cerrado.

O estímulo à germinação e ao desenvolvimento das plântulas, quando submetidas ao extrato de fumaça pode ser uma adaptação em ambientes susceptíveis ao fogo (Govindaraj *et al.*, 2016). Estudo realizado por Guangwu e Xuwen, (2014) foram identificados mais de 4.000 compostos presentes em extratos aquosos de fumaça, sendo que esses compostos, isoladamente ou em combinação, podem ser responsáveis pelo estímulo observado na germinação. Dentre esses compostos, o butenolóides se destacam por sua atuação nas vias das giberelinas, com efeitos semelhantes ao ácido giberélico. Sua estrutura também mostra semelhanças com as auxinas, hormônios que desempenham papel crucial nos processos iniciais da germinação das sementes.

A resposta observada com o uso de SNP e GA₃ foi semelhante aos resultados obtidos com o EAF, indicando o potencial desses compostos como condicionantes eficientes para a germinação de sementes de *S. granulosoleprosum*. O SNP, reconhecido como um doador de óxido nítrico (NO), atua regulando respostas enzimáticas durante a germinação. Enquanto as

giberelinas fazem parte de um grupo de hormônios vegetais relacionados aos processos de germinação e crescimento de plantas.

Em um estudo conduzido por Yan *et al.*, (2024) com sementes de *Solanum torvum*, a aplicação exógena de GA₃ promoveu aumentos significativos na taxa de germinação.

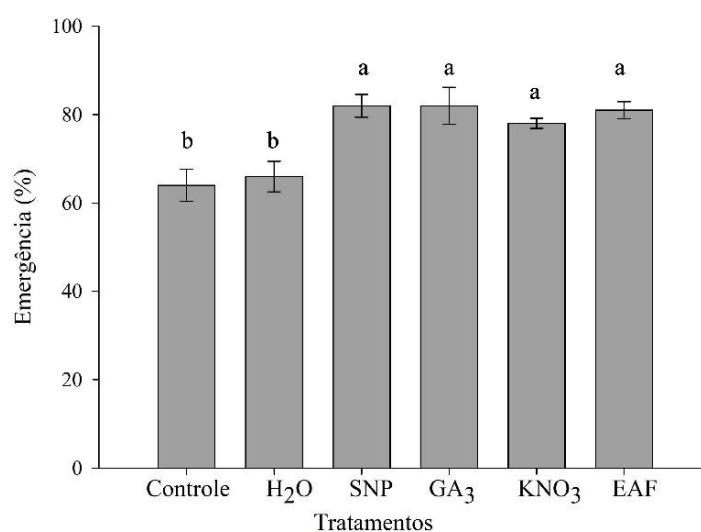
O condicionamento em KNO₃ embora tenha apresentado resultados inferiores aos demais tratamentos, demonstrou desempenho superior ao controle e ao hidrocondicionamento na resposta à germinação e no crescimento inicial das plântulas.

O KNO₃ desempenha um papel importante na modulação dos níveis hormonais, promovendo redução significativa no ácido abscísico (ABA), conhecido por sua ação inibitória na germinação, e aumentando os níveis de giberelinas, hormônios que estimulam a elongação celular e o crescimento do embrião (Shahzad *et al.*, 2023). Tu *et al.*, (2022) concluíram que houve melhora significativa na porcentagem de germinação das sementes e resistência das plântulas de *Capsicum* spp., uma espécie da família Solanaceae, quando condicionadas em KNO₃ por 48 horas.

3.2. Teste de emergência

A emergência em sementeira foi afetada significativamente pelo condicionamento das sementes, com exceção para sementes que passaram pelo hidrocondicionamento. Nas duas condições esse tratamento não diferiu do controle. Assim, as maiores taxas de emergência foram obtidas em sementes condicionadas em nitroprussiato de sódio, ácido giberélico, nitrato de potássio e extrato aquoso de fumaça (Figura 3).

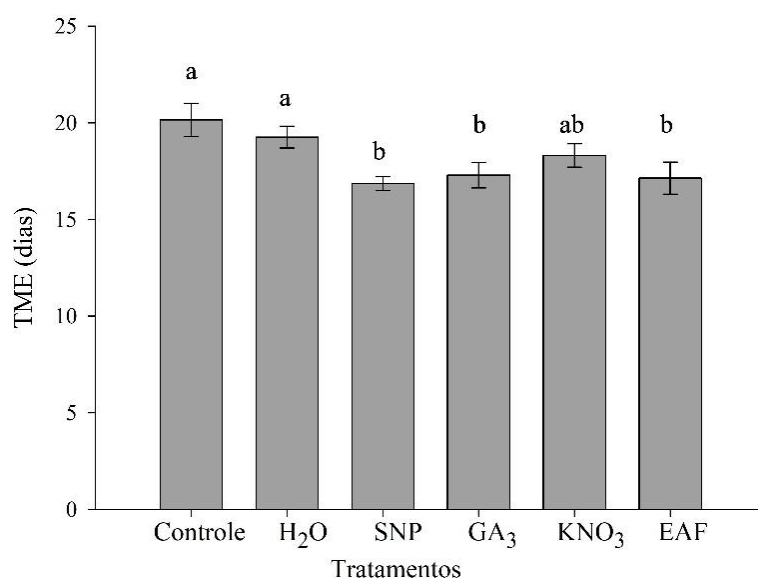
Figura 3- Emergência em sementeira de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

O tempo de médio de emergência também foi afetado pelo condicionamento. Os tratamentos controle, hidrocondicionamento e KNO₃ exibiram os maiores tempos médios de emergência, próximos de 20 dias, enquanto o condicionamento com SNP, GA₃ e EAF apresentaram tempos médios de emergência significativamente menores (Figura 4).

Figura 4- Tempo médio de emergência de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 12,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



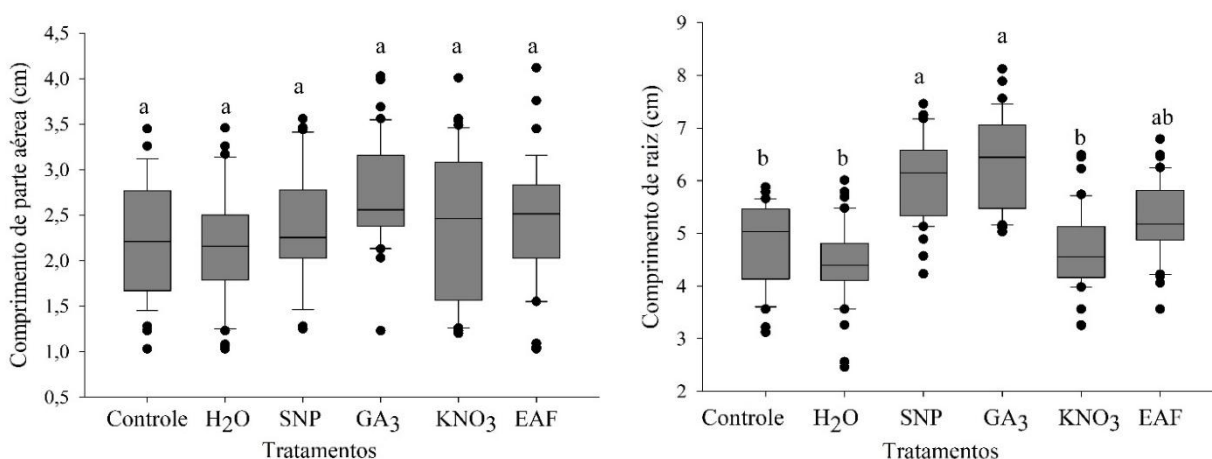
Fonte: Da autora (2025).

Sementes condicionadas em soluções, apresentaram maior percentual de emergência quando comparado com o controle e hidrocondicionamento. Entretanto, ao analisar o tempo médio de emergência, os tratamentos com nitroprussiato de sódio (SNP), ácido giberélico (GA_3) e extrato aquoso de fumaça (EAF) foram os tratamentos que se destacaram (Figura 4). Dessa forma, considerando-se que não houve diferença no percentual de emergência, recomenda-se o condicionamento usando esses compostos para maior chance de estabelecimento das plântulas no viveiro.

O menor tempo de emergência das sementes em viveiro é crucial para o sucesso do estabelecimento em sementeira, garantindo maior taxa de sobrevivência e vigor inicial. A rápida emergência reduz a exposição a estresses ambientais, como déficit hídrico e ataque de patógenos, além de minimizar o risco de predação e deterioração.

O condicionamento das sementes não afetou o crescimento da parte aérea, porém sementes condicionadas com GA_3 apresentaram maior comprimento radicular comparado com os demais tratamentos (Figura 5).

Figura 5- Análise boxplot do crescimento da parte aérea (A) e radicular (B) de plântulas de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O) nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Na avaliação do crescimento de plântulas após a emergência, observou-se que o condicionamento das sementes com GA_3 resultou em um aumento significativo no desenvolvimento radicular (Figura 5). De acordo com a literatura, a giberelina atua na regulação

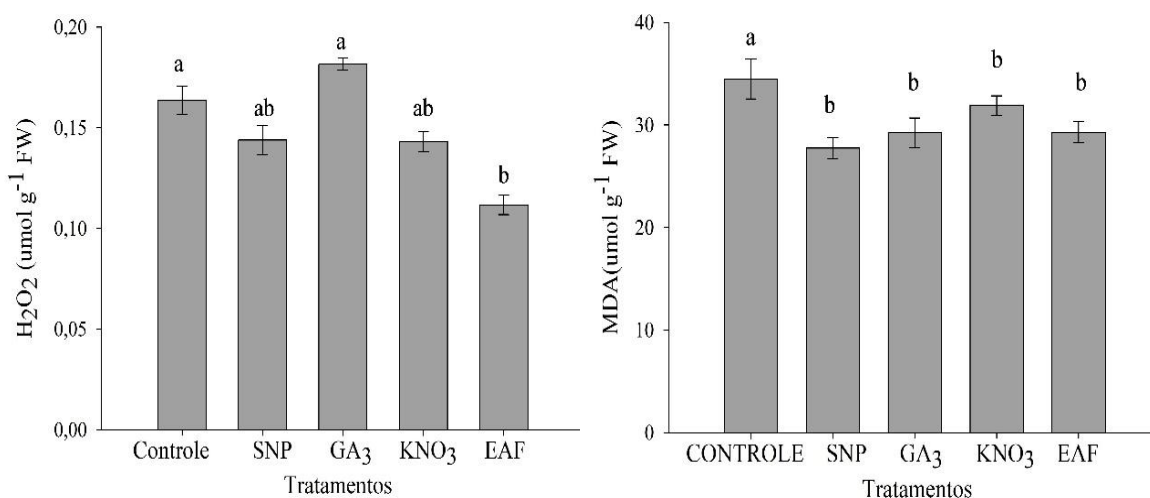
de diversos processos fisiológicos essenciais, como o alongamento do caule, a expansão foliar, o crescimento radicular e o desenvolvimento de estruturas reprodutivas. O ácido giberélico (GA_3), em particular, modula a expressão de genes envolvidos na biossíntese de giberelinas, influenciando diretamente o metabolismo energético e promovendo a elongação celular (Choi *et al.*, 2023).

Em estudos com sementes de *Betula platyphylla* (Wang *et al.*, 2015) e *Arabidopsis thaliana* (Ragni *et al.*, 2011) o uso de GA_3 resultou em maior porcentagem de germinação e maior crescimento de parte aérea das plântulas.

3.3. Análises bioquímicas

Avaliando-se o conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em sementes condicionadas foi possível observar que o conteúdo de H_2O_2 variou entre os tratamentos, havendo diferença significativa. Em que, o EAF foi o tratamento mais eficaz na redução do estresse oxidativo, conforme evidenciado pela menor concentração de H_2O_2 . Quando analisada a peroxidação lipídica pela quantificação de MDA, observou-se diferença significativa entre o controle e os demais tratamentos (Figura 6).

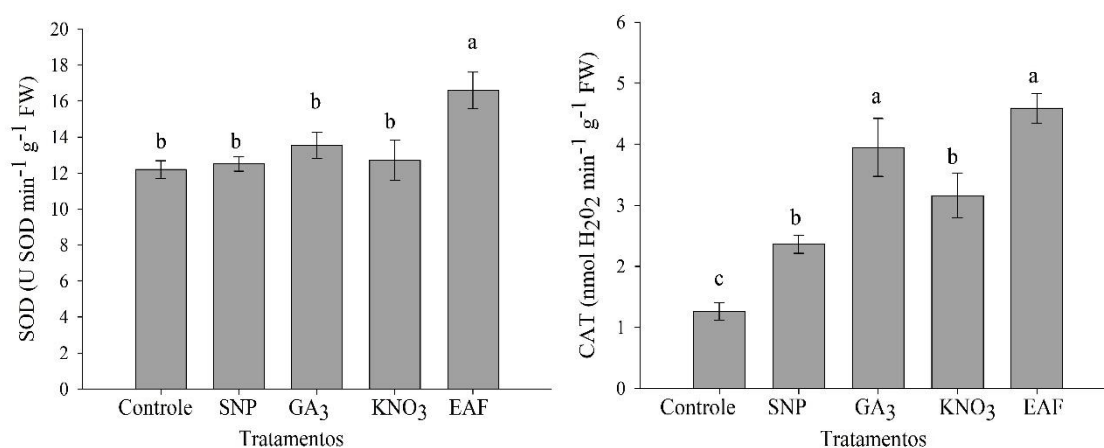
Figura 6- Teor peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e de malondialdeído (MDA) em sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Analisando a atividade das enzimas antioxidantes SOD e CAT (Figura 7), verificou-se que em sementes condicionadas com EAF houve uma alteração significativa na atividade da enzima SOD. O condicionamento com SNP, GA₃, KNO₃ e EAF aumentaram significativamente a atividade da CAT em comparação ao controle.

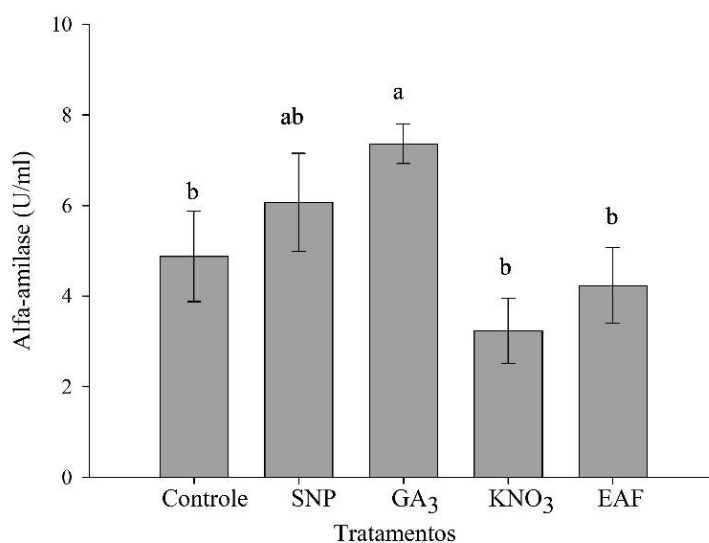
Figura 7- Atividade da superóxido dismutase (SOD) e atividade da catalase (CAT) em sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

A atividade de alfa-amilase variou significativamente entre os tratamentos aplicados às sementes. O tratamento com GA₃ induziu a maior atividade enzimática, atingindo valores superiores a 7 U/mL, sendo estatisticamente superior aos demais tratamentos (Figura 8).

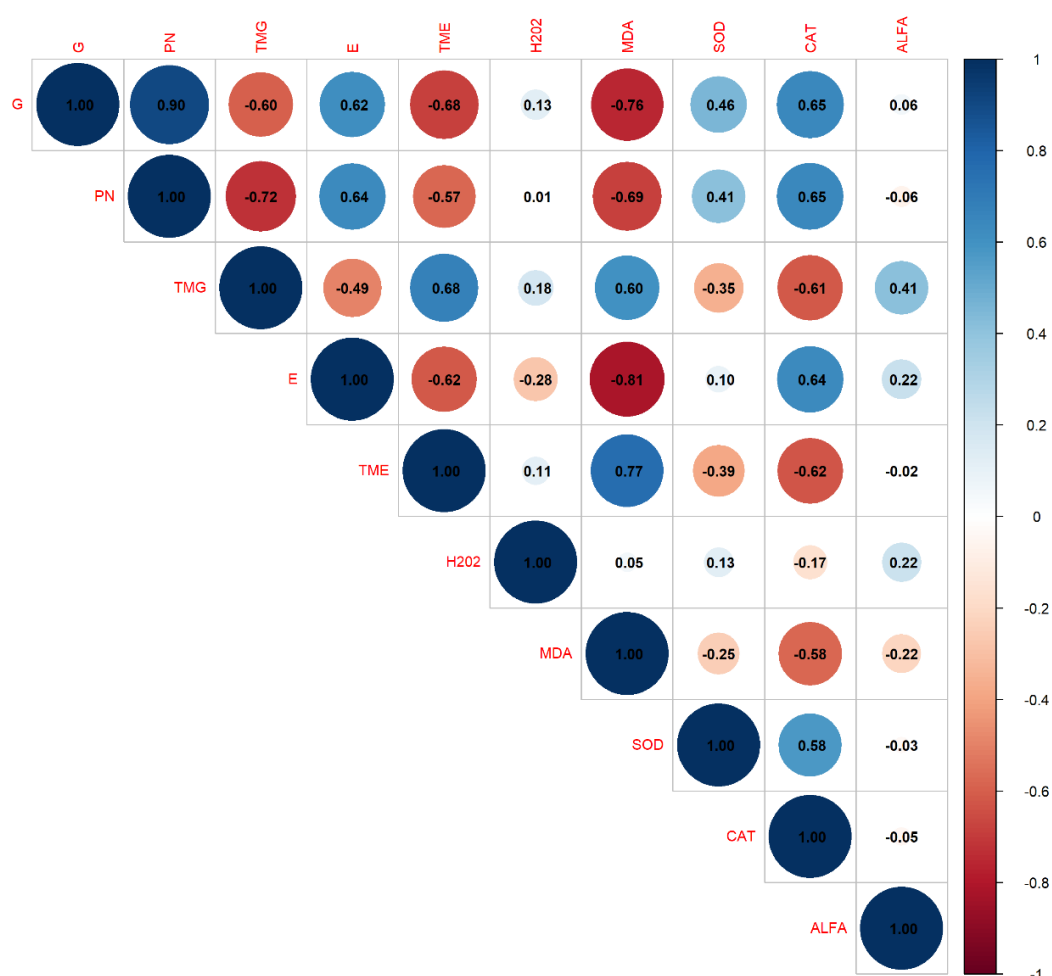
Figura 8- Atividade de Alfa-amilase em sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Através da matriz de correlação de *Pearson* (Figura 9), foi possível observar associações significativas entre as variáveis bioquímicas e fisiológicas, evidenciando o impacto do estresse oxidativo na germinação e emergência das plântulas. A germinação ($r = -0,76$) e a emergência ($r = -0,81$), correlacionaram-se negativamente com o malondialdeído (MDA), o tempo médio de germinação (TMG) correlacionou-se positivamente com MDA ($r = 0,60$). A atividade catalase (CAT) mostrou correlação positiva significativa com G ($r = 0,65$), E ($r = 0,64$) e correlação negativa significativa com TMG ($r = -0,61$), TME ($r = -0,62$) e MDA ($r = -0,58$).

Figura 9 - Análise de correlação de *Pearson* dos índices, fisiológicos e bioquímicos em sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF).



G = germinação; PN = plântulas normais; TMG = tempo médio de germinação; E= emergência; TME= tempo médio de emergência; H2O2 = peróxido de hidrogênio; MDA = malondialdeído; SOD = superóxido dismutase; CAT = catalase; ALFA= Alfa-amilase.

Fonte: Da autora (2025)

Nos resultados obtidos na quantificação dos níveis de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), verificou-se que entre os tratamentos avaliados, apenas o extrato aquoso de fumaça (EAF) apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado ao controle, indicando que o condicionamento das sementes com EAF contribuiu para a mitigação do estresse oxidativo nas sementes. Entretanto, esse comportamento não explica os dados fisiológicos encontrados pós condicionamento, uma vez que não verificou correlação entre eles e H_2O_2 .

O estudo bioquímico das sementes após o condicionamento revelou que os tratamentos aplicados atuam como mecanismos antioxidantes eficazes, reduzindo significativamente os níveis de malondialdeído (MDA). Essa redução é um indicador de menor peroxidação lipídica, sugerindo menor estresse oxidativo nas sementes.

A análise de correlação (Figura 9), apresentou associação negativa significativa entre os níveis de malondialdeído (MDA) e os parâmetros fisiológicos de germinação ($r = -0,76$) e

emergência ($r = -0,81$), evidenciando que o aumento da peroxidação lipídica compromete a viabilidade e o vigor das sementes. Por outro lado, o tempo médio de germinação (TMG) e o tempo médio de emergência (TME) apresentaram correlação positiva com o MDA, com coeficientes de $r = 0,60$ e $r = 0,77$, respectivamente. Esses resultados indicaram que sementes submetidas a maior estresse oxidativo tendem a demorar mais para germinar, sugerindo que o acúmulo de MDA pode atuar como um indicador de deterioração fisiológica e redução da eficiência germinativa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Zhang *et al.*, (2023), que observaram que o uso GA_3 no condicionamento de sementes de arroz não apenas aumentou a taxa de germinação, mas também reduziu os níveis de MDA, indicando a eficácia deste regulador no controle do estresse oxidativo. Da mesma forma, Patrícia *et al.*, (2023) observaram maior taxa de germinação das sementes e redução significativa nos níveis de MDA em sementes de *Acacia auriculiformis* tratadas com GA_3 , indicando um padrão consistente entre diferentes espécies.

Na análise das enzimas do sistema antioxidante, foram verificadas diferenças significativas na atividade da superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em função dos tratamentos aplicados. A SOD (Figura 7), reconhecida como um antioxidante enzimático fundamental, desempenha um papel essencial na defesa celular contra o estresse oxidativo, ao converter o radical superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Rajput *et al.*, 2021).

Em relação à atividade de SOD, apenas o tratamento com extrato aquoso de fumaça (EAF) apresentou diferença estatisticamente significativa em comparação aos demais condicionantes e não foram encontradas correlações entre atividade de SOD.

A catalase é uma enzima intracelular, encontrada nos glioxissomos das células vegetais. Ela atua na desintoxicação celular, transformando EROs em substâncias não reativas e na decomposição do H_2O_2 por reação de dismutação (Marques *et al.*, 2019).

Para a CAT (Figura 7), os tratamentos com EAF e GA_3 apresentaram as maiores atividades enzimáticas. A análise de correlação de Pearson demonstrou que a atividade da CAT possui correlação positiva significativa com a germinação ($r = 0,65$) e a emergência ($r = 0,64$), indicando que maiores níveis dessa enzima estão associados a um desempenho fisiológico superior. Foi observado também a correlação negativa significativa entre a atividade da CAT e o TMG ($r = -0,61$), TME ($r = -0,62$) e os níveis de MDA ($r = -0,58$), evidenciando que a presença dessa enzima antioxidante reduziu os danos oxidativos e favoreceu a germinação e emergência e reduzindo o seu tempo. Resultados semelhantes a esses foram encontrados em sementes de arroz por Wang *et al.*, (2024) e cevada por Hessini *et al.*, (2023).

O processo de ativação da alfa-amilase começa quando a giberelina presente no embrião entra em uma célula da camada de aleurona e induz essas células a sintetizar a alfa-amilase (Zhang *et al.*, 2019).

Quando analisada a atividade de alfa-amilase (Figura 6) nos diferentes tratamentos, verificou-se que o condicionamento com GA₃ resultou na maior atividade dessa enzima, seguido pelo tratamento com SNP, entretanto pela correlação de *Pearson* não foi observado correlação significativa entre os dados fisiológicos e a atividade de alfa-amilase.

3.4. Efeito do condicionamento na longevidade de sementes

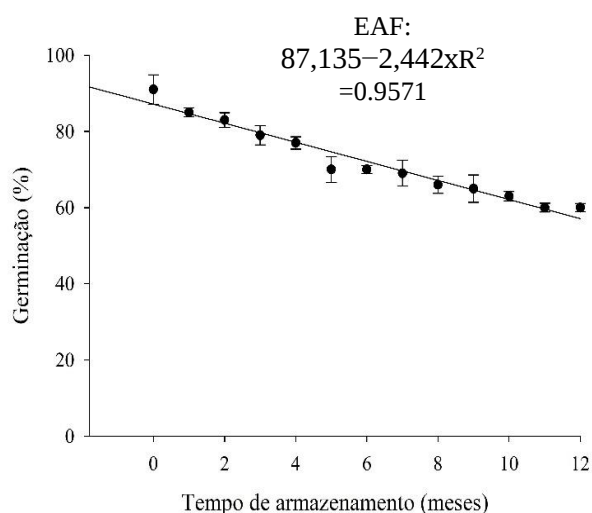
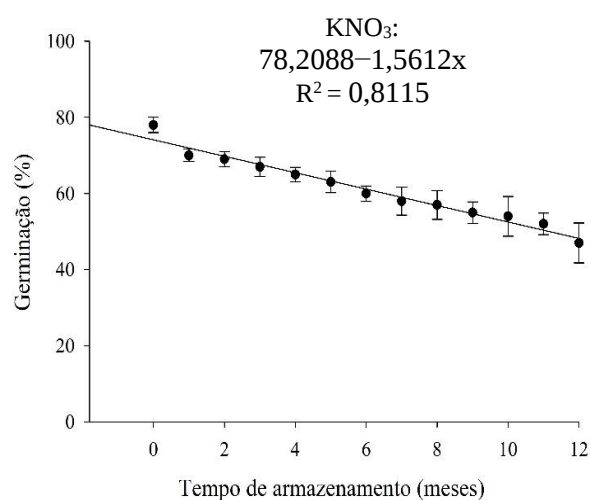
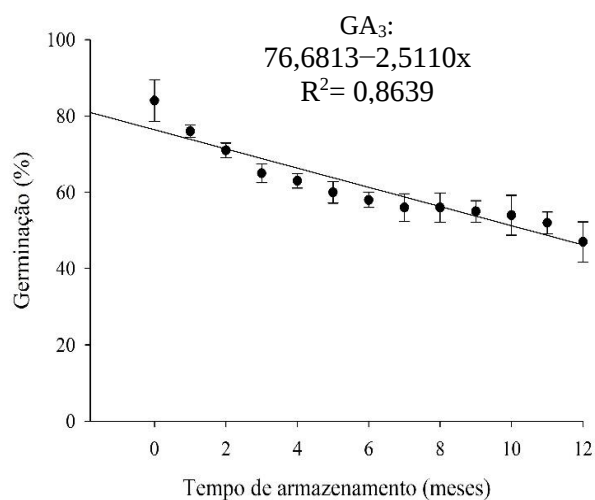
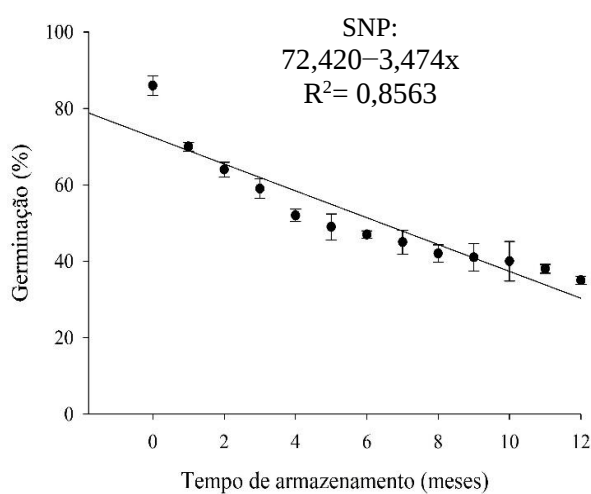
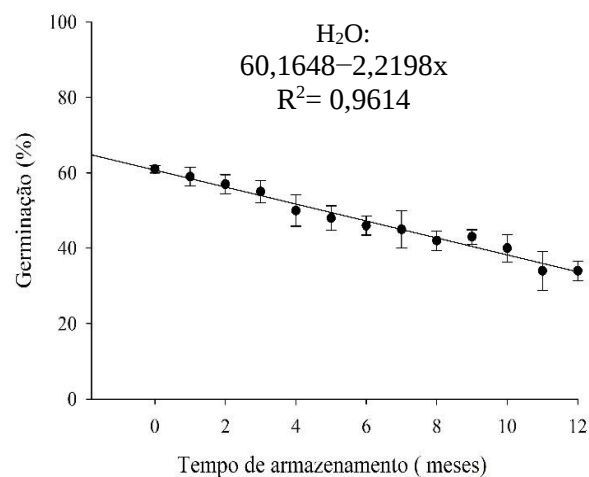
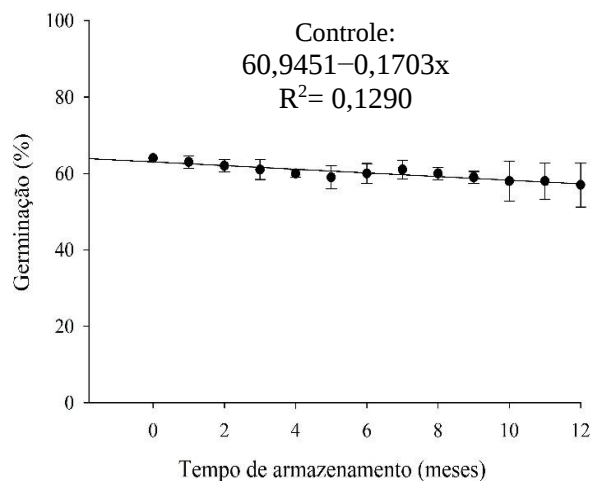
Durante o armazenamento das sementes condicionadas, verificou-se efeito significativo ($P < 0,01$) dos tratamentos de condicionamento e do tempo de armazenamento das sementes e a interação entre esses fatores foi significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para a taxa de germinação de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas a diferentes tratamentos de condicionamento fisiológico (controle, hidrocondicionamento, SNP, GA₃, KNO₃ e EAF), avaliados ao longo de 12 meses de armazenamento.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	5	8368	1,673	48,371	<0,001
Tempo	12	15262	1,271	36,761	<0,001
Tratamento × Tempo	60	4522	0,075	2,178	1,97 e ⁻¹⁰
Resíduos	234	8096	0,034		
Total	311	36248			
CV		10,32%			

A partir de análises de regressão lineares (Figura 10), foi possível observar que sementes condicionadas apresentaram redução na germinação após o armazenamento, indicando que condicionar as sementes dessa espécie e armazená-las não é recomendável. Enquanto sementes não condicionadas (controle) não alteraram a viabilidade durante o armazenamento, o hidrocondicionamento e o condicionamento com SNP foram os tratamentos que tiveram o efeito mais pronunciado na perda da viabilidade ao longo do armazenamento em comparação aos outros tratamentos (GA₃, KNO₃ e EAF).

Figura 10. Análise de regressão linear para a germinação de sementes de sementes de *Solanum granulosoleprosum* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O) nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF) e armazenadas por 12 meses



Fonte: Da autora (2025).

Na análise do efeito do condicionamento sobre a resposta das sementes ao armazenamento, foi verificado comportamento semelhante entre os tratamentos avaliados. Sementes condicionadas, independente do composto utilizado, apresentaram redução

significativa na germinação ao longo do período de armazenamento (Figura 10). Aparentemente, ocorre a perda progressiva do efeito estimulador proporcionado pelo tratamento de condicionamento.

Diversos trabalhos demonstram os efeitos benéficos do condicionamento na germinação (Wojtyla *et al.*, 2016; Farooq *et al.*, 2019), entretanto, poucos abordam o efeito sobre o armazenamento.

A perda de viabilidade ao longo do armazenamento de sementes de *S. granulosoleprosum* pode estar associada a mudanças metabólicas que ocorrem durante o processo de condicionamento, as quais, embora favoreçam a germinação inicial, podem comprometer a viabilidade das sementes a longo prazo. Em estudo com sementes de *Prosopis cineraria*, foram investigados os efeitos de diferentes técnicas de condicionamento e armazenamento, incluindo tratamentos com GA₃ sobre a germinação. Este trabalho concluiu que o armazenamento em condições adequadas pode preservar a eficiência do tratamento por até 10 dias (Ali *et al.*, 2023), entretanto, após esse período, as sementes também perderam sua viabilidade.

4. CONCLUSÕES

O uso do extrato aquoso de fumaça (EAF) no condicionamento fisiológico de sementes de *Solanum granulosoleprosum* aumenta o desempenho germinativo, resultando em maior porcentagem de germinação e formação de plântulas normais, menor tempo médio de germinação, maior emergência e menor tempo médio de emergência.

Os efeitos positivos do EAF, GA₃ e SNP durante o condicionamento das sementes estão associados a menor produção de malondialdeído (MDA).

O condicionamento de sementes de *Solanum granulosoleprosum* aumenta a atividade de enzimas antioxidantes como a catalase (CAT).

As sementes que passaram pelo processo de condicionamento perderam a viabilidade mais rapidamente quando comparadas com as sementes não condicionadas sendo recomendado fazer a semeadura o mais rápido possível após o condicionamento.

REFERÊNCIAS

ALI, S. H *et al.* Effective Priming Techniques to Enhance Ghaf (*Prosopis cineraria* L. Druce) Seed Germination for Mass Planting. **Horticulturae**, v. 9, n. 5, p. 542, 2023. Doi.org/10.3390/horticulturae9050542.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009. 395p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2013. 98p.

CASTELLANI, E. D.; AGUIAR, I. B. D.; PAULA, R. C. D. Bases for the standardization of germination tests in three *Solanum* L. species. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 77–85, 2009.

CASTRONUOVO, D.; CARDONE, L.; CANDIDO, V. Effects of pre-germinative treatments and temperatures on tassel hyacinth [*Muscari comosum* (L.) Mill.] seeds. **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 225, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010225>.

CHOI, J.; JUNG, Y. Exogenous gibberellin can effectively and rapidly break dormancy in *Amsonia elliptica* seeds. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1736, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.123456>.

COBAN, G. A. Effects of sodium nitroprusside on some physiological and histological responses of pepper plants exposed to salt stress. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 83, n. 6, p. 682–691, 2023.

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 1465–1475, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. Propagação de espécies florestais. Belo Horizonte: CEMIG, 1995.

DAWOOD, M. G. Stimulating plant tolerance against abiotic stress through seed priming. In: **Advances in Seed Priming**, p. 147–183, 2018.

FAROOQ, M. *et al.* 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>.

FLEMATTI, Gavin R. *et al.* Identification of alkyl substituted 2 H-furo [2, 3-c] pyran-2-ones as germination stimulants present in smoke. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 20, p. 9475–9480, 2009.

GIANNOPOLIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977. Available at: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

GOVINDARAJ, M.; MASILAMANI, P.; ALEX, A. V.; BHASKARAN, M. Plant-derived smoke stimulation for seed germination and crop growth enhancement: a review. **Agricultural Reviews**, v. 37, n. 2, p. 87–100, 2016. <https://doi.org/10.18805/ar.v37i2.10735>.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>.

HESSINI, K. *et al.* Seed priming with salicylic acid alleviates salt stress toxicity in barley by suppressing ROS accumulation and improving antioxidant defense systems. **Antioxidants**, v. 12, n. 9, p. 1779, 2023. <https://doi.org/10.3390/antiox12091779>.

HODGES, D. M. *et al.* Improving the thiobarbituric acid reactive substances assay to estimate 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>.

Jl, P. *et al.* Potential of gibberellic acid 3 (GA3) to enhance phytoremediation efficiency of *Solanum nigrum* L. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 95, p. 810–814, 2015.

MAHMOOD U. M *et al.* Seed priming with potassium nitrate alleviates the high temperature stress by modulating growth and antioxidant potential in carrot seeds and seedlings. **BMC Plant Biol.** 24, 606, 2024.

MARQUES, R. F. *et al.* Sowing depth and seed weight in the emergence of the weed *Urochloa ruziziensis* in the field. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 19, n. 1, e3458, 2024. Available at: <https://doi.org/10.5039/agraria.v19i1a3458>.

MITTERMEIER, R. A. *et al.* Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. 2nd ed. Boston: University of Chicago Press, 2005.

MOHAMMED, A. A. *et al.* Influence of phytohormones on seed germination of *Solanum linnaeanum*. **Anales de Biología**, p. 1–8, 2023.

NABAEI, M.; AMOOAGHAIE, R. Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of *Catharanthus roseus* under cadmium stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 66, p. 128–139, 2019. <https://doi.org/10.1134/S1021443719010126>.

OFOE, R. *et al.* Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Chemistry and Ecology**, v. 38, n. 7, p. 634–648, 2022. DOI: 10.1080/02757540.2022.2093508.

OLIVEIRA, Paulo S.; MARQUIS, Robert J. (Ed.). Os cerrados do Brasil: ecologia e história natural de uma savana neotropical. Imprensa da Universidade de Columbia, 2002.

RAGNI, L. *et al.* Mobile gibberellin directly stimulates *Arabidopsis* hypocotyl xylem expansion. **The Plant Cell**, v. 23, p. 1322–1336, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084020>.

RAJPUT, V. D. *et al.* Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. **Biology**, v. 10, n. 4, p. 267, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology10040267>.

SALEEM, M. H. et al. Foliar application of gibberellic acid endorsed phytoextraction of copper and alleviates oxidative stress in jute (*Corchorus capsularis* L.) plant grown in highly copper-contaminated soil of China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 37121–37133, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09732-0>.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Análise da germinação: um enfoque estatístico. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 247–248 p. ISBN 8523007911, 2004.

SILVA, K. D. A. et al. Effects of forest fragmentation on natural populations of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan: insights for conservation and sustainable management. **CERNE**, v. 30, e103316, 2024. Doi.org/10.1590/01047760202430013316.

SHAHZAD, S. et al. Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. **Seeds**, v. 4, n. 2, p. 123–137, 2023. Doi.org/10.3390/seeds4020123.

UMESH B.S et al. Enhancing germination and seedling vigour of interspecific F1 hybrid chilli seeds through priming with KNO₃ and GA₃. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 11, p. 55–66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113144>.

UZAL, O.; YASAR, F. Effects of GA₃ hormonal treatments on ion uptake and growth of pepper plants under cadmium stress. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, p. 1347–1357, 2017.

VALLÉS, D. et al. Granulosain I, a cysteine protease isolated from ripe fruits of *Solanum granulosum-leprosum* (Solanaceae). **Protein Journal**, v. 27, p. 267–275, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10930-008-9133-4>.

VELIKOVA, V. et al. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59–66, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1).

YAN, Y.; OKITA, T. W.; TIAN, L. Transcriptome analysis reveals the effects of exogenous gibberellin on the germination of *Solanum torvum* seeds. **Agronomy**, v. 14, n. 8, p. 1736, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081736>.

WANG, J. et al. Prohexadione calcium and gibberellin improve osmoregulation, antioxidant response and ion homeostasis to alleviate NaCl stress in rice seedlings. **Agronomy**, v. 14, n. 6, p. 1318, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14061318>.

WANG, Jinxin et al. Exogenous GA₃ application enhances xylem development and induces the expression of secondary wall biosynthesis related genes in *Betula platyphylla*. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1-14, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00956.

WANG, Y. et al. A peroxisomal cinnamate: CoA ligase-dependent phytohormone metabolic cascade in submerged rice germination. **Developmental Cell**, v. 59, n. 12, p. 1363–1378.e4, 2024. Doi.org/10.1016/j.devcel.2024.03.023.

WAQAS, M. et al. Advances in the concept and methods of seed priming. In:

HASANUZZAMAN, M.; FOTOPOULOS, V. (ed.). Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Singapore: Springer, 2019. p. 17–44. Doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_2.

ZIRONDI, H.L. *et al.* Fire effects on seed germination: heat shock and smoke on permeable vs impermeable seed coats. **Flora**, 253, 98-106, 2019.

ZIRONDI, H. L. *et al.* Heat and smoke affect the germination of flammable resprouters: Vellozia species in the Cerrado. **Folia Geobotanica**, v. 54, p. 65–72, 2019. DOI: 10.1007/s12224-019-09337-4

CAPÍTULO 5: Condicionamento fisiológico em sementes de *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão: efeito no desempenho e armazenamento.

RESUMO

Myracrodruon urundeuva, conhecida como aroeira-do-sertão, é uma espécie nativa do Brasil de grande importância ecológica e econômica, amplamente utilizada em programas de reflorestamento devido à sua resistência a condições adversas. No entanto, sua baixa taxa de germinação e crescimento inicial lento limitam sua utilização. Este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos do condicionamento fisiológico com ácido giberélico (GA_3), nitroprussiato de sódio (SNP), nitrato de potássio (KNO_3) e extrato aquoso de fumaça (EAF), na germinação, vigor e armazenamento de sementes de *M. urundeuva*. As sementes foram submetidas a seis tratamentos (controle, hidrocondicionamento, GA_3 , SNP, KNO_3 e EAF). Após o condicionamento foram realizadas análises fisiológicas em condições de laboratório e sementeira, além de análises bioquímicas. O condicionamento afetou significativamente a germinação das sementes de *M. urundeuva*. Sementes condicionadas apresentaram maior porcentagem de germinação e formação de plântulas, além de apresentarem germinação mais rápida, em relação ao controle. No teste de emergência também foram verificados efeitos significativos dos tratamentos com destaque para o condicionamento em EAF e GA_3 , obtendo-se maior porcentagem e menor tempo médio de emergência, sendo que o condicionamento em GA_3 também afetou o crescimento das plântulas. Foi verificado efeito dos tratamentos em sementes armazenadas. O condicionamento em água, e SNP afetaram negativamente a viabilidade após o armazenamento, enquanto o EAF, GA_3 e KNO_3 mantiveram ou foram superiores ao controle, apesar de uma redução progressiva ao longo do armazenamento. A resposta das sementes aos tratamentos está relacionada às respostas bioquímicas. O condicionamento resultou em redução dos conteúdos de H_2O_2 e MDA nas sementes, enquanto aumentaram a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT). O condicionamento em GA_3 e KNO_3 aumentaram a atividade da enzima alfa-amilase o que pode estar associado com o maior desenvolvimento inicial das plântulas. Os resultados reforçam o potencial do condicionamento fisiológico como uma técnica promissora para superar os desafios associados à germinação lenta e ao crescimento inicial de *M. urundeuva*.

Palavras chave: Qualidade de sementes; estresse oxidativo; antioxidantes enzimáticos

Physiological Priming in *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão Seeds: Effects on Performance and Storage

ABSTRACT

Myracrodruon urundeuva, known as aroeira-do-sertão, is a species native to Brazil that is of great ecological and economic importance and is widely used in reforestation programs because of its resistance to adverse conditions. However, its low germination rate and slow initial growth limit its use. This study aimed to evaluate the effects of physiological conditioning with gibberellic acid (GA₃), sodium nitroprusside (SNP), potassium nitrate (KNO₃), and aqueous smoke extract (AES) on the germination, vigor, and storage of *M. urundeuva* seeds. The seeds were subjected to six treatments (control, hydroconditioning, GA₃, SNP, KNO₃, and AES). After conditioning, physiological analyses were performed under laboratory and field conditions, in addition to biochemical analyses. Conditioning significantly affected the germination of *M. urundeuva* seeds. Compared with the control seeds, the conditioned seeds presented a greater percentage of germination and seedling formation, as well as faster germination. In the emergence test in the field, significant effects of the treatments were also observed, with emphasis on conditioning in AES and GA₃, resulting in a higher percentage and shorter average emergence time, with conditioning in GA₃ also affecting seedling growth. The effects of the treatments on stored seeds were verified. Conditioning in water and SNP negatively affected viability after storage, whereas AES, GA₃, and KNO₃ maintained or were superior to the control, despite a progressive reduction throughout storage. The response of the seeds to the treatments was related to their biochemical responses. Conditioning resulted in a reduction in H₂O₂ and MDA contents in the seeds but increased the activity of the antioxidant enzymes superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT). Conditioning with GA₃ and KNO₃ increased the activity of the enzyme alpha-amylase, which may be associated with greater initial seedling development. These results reinforce the potential of physiological conditioning as a promising technique to overcome the challenges associated with the slow germination and initial growth of *M. urundeuva*.

Keywords: Seed quality; oxidative stress; enzymatic antioxidants

1. INTRODUÇÃO

Myracrodruon urundeuva, conhecida como aroeira-do-sertão, é uma espécie arbórea nativa do Brasil de grande importância ecológica e econômica. Sua madeira, de alta durabilidade e resistência, é amplamente utilizada na construção civil e na fabricação de móveis (Carmelo *et al.*, 1999). A espécie é reconhecida por seu potencial em programas de recuperação de áreas degradadas, especialmente em biomas como o Cerrado e a Caatinga, devido à sua resistência a condições adversas e à sua capacidade de adaptação ao solo (Ferreira *et al.*, 2015).

Contudo, a obtenção de sementes com germinação rápida e uniforme é crucial para o êxito de projetos de reflorestamento e plantios comerciais, pois contribui para a melhoria dos resultados operacionais, redução de custos e para uma regeneração mais eficiente, rentável e sustentável das áreas-alvo (Pérez *et al.*, 2019). Dessa forma, a aplicação de técnicas que melhore tanto a taxa de germinação quanto o vigor das plântulas é necessária para potencializar os esforços de reflorestamento (Lima *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o tratamento de sementes, especialmente o uso do condicionamento fisiológico tem se mostrado uma técnica eficaz na melhoria da germinação e vigor das sementes (Rifna *et al.*, 2019). A técnica consiste na hidratação das sementes antes da semeadura, onde iniciam o processo de germinação, mas são secas novamente antes que a germinação prossiga até o ponto de extensão da radícula (Bradford, 1986). O condicionamento pode reduzir a variabilidade na taxa de germinação de sementes dentro de uma população, garantindo germinação e estabelecimento mais uniformes e rápidos.

O uso de moléculas sinalizadoras em conjunto com o condicionamento fisiológico de sementes é uma estratégia para melhorar a germinação e o desenvolvimento das plântulas. Essas moléculas agem como reguladores bioquímicos, atuando em diversas rotas metabólicas, ativando etapas relacionadas à germinação e mecanismos de proteção durante as fases iniciais da germinação e desenvolvimento de plântulas (Ali *et al.*, 2017; Dhillon *et al.*, 2021).

Dentre as moléculas sinalizadoras mais estudadas, destaca-se o ácido giberélico (GA_3), que tem sido amplamente utilizado para induzir a germinação de sementes e melhorar a resistência das plântulas em situações de estresse hídrico e salino (Zhu *et al.*, 2021).

O nitroprussiato de sódio (SNP), é uma molécula que libera óxido nítrico (NO), funcionando como sinalizador que regula respostas fisiológicas durante a germinação das sementes (Tran *et al.*, 2022), apresentado efeito benéfico na regulação do estresse abiótico, aumentando a tolerância das sementes à salinidade e promovendo uma germinação mais eficiente (Ali *et al.*, 2017). Da mesma forma, o nitrato de potássio (KNO_3) também se destaca como uma molécula sinalizadora importante, sendo utilizado para promover o vigor das

sementes e aumentar sua resistência a fatores ambientais adversos, como o déficit hídrico e a salinidade no solo (Ribeiro *et al.*, 2019).

O extrato aquoso de fumaça, derivado da combustão de materiais vegetais, também é capaz de estimular processos bioquímicos nas sementes, atuando na rota das giberelinas, ativando as respostas antioxidantes e melhorando a taxa de germinação (Ofue *et al.*, 2022).

Estudos têm demonstrado que o condicionamento fisiológico pode melhorar as respostas das sementes (Habib *et al.*, 2021), entretanto, pouco se sabe como esses tratamentos afetam o comportamento das sementes durante o armazenamento. Um estudo foi realizado para avaliar os impactos de distintos tratamentos de condicionamento na longevidade das sementes, evidenciando que variações nos métodos e condições de condicionamento, como temperatura e duração, podem resultar em diferentes efeitos no armazenamento das sementes (Fabrissin *et al.*, 2021).

O estudo teve como objetivo investigar como o condicionamento fisiológico afeta a germinação das sementes e o crescimento inicial das plântulas de *Myracrodruon urundeuva*, além de analisar as reações das sementes submetidas a esse tratamento diante do estresse oxidativo, por meio de estudos bioquímicos e avaliações de parâmetros fisiológicos e o período de armazenamento das sementes pós condicionamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condições de armazenamento

Os ensaios experimentais foram conduzidos no Laboratório de Sementes Florestais e no Viveiro Florestal, ambos vinculados ao Departamento de Ciências Florestais, bem como no Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas do Departamento de Fisiologia Vegetal, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situada no estado de Minas Gerais, Brasil. As sementes de *M. urundeuva*, coletadas na cidade de Porto Franco- MA, em 2020 onde foram secadas até a umidade de 8,20% e encaminhadas para o Laboratório de Sementes Florestais onde foram armazenadas em câmara fria (6 a 8 °C e 40% UR, em saco de polietileno)

2.2. Condicionamento fisiológico e condições experimentais

O experimento de condicionamento fisiológico de *M. urundeuva* foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram: controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (sementes condicionadas em água), GA₃ (2,0 µM), SNP (10 µM), KNO₃

(2,0% p/v) e extrato aquoso de fumaça (EAF) (2% v/v). As concentrações dos condicionantes foram previamente selecionadas com base em testes piloto. O extrato de fumaça foi obtido por meio da condensação de gases da carbonização de folhas e galhos de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados duzentos gramas de material vegetal, que foi colocado em um recipiente metálico com mangueiras acopladas a um frasco contendo água destilada. Após o início da combustão, a fumaça foi bombeada à força por uma bomba manual para impulsionar os gases da combustão para o fundo do frasco com água destilada até que todo o conteúdo fosse consumido pelo fogo. Após as devidas diluições, foram realizadas medições de pH usando um medidor de pH, e em todas as concentrações, o pH variou de 6,6 a 7,1. O frasco contendo o extrato aquoso de fumaça foi fechado e armazenado a 10°C no escuro até o uso.

Antes dos tratamentos as sementes foram desinfetadas com solução detergente com 5 gotas/100ml de água destilada por 5 minutos, (BRASIL, 2013) e submetidas ao condicionamento por 48 horas a 10 °C, em ambiente escuro, sobre papel de germinação em placas de Petri. Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água destilada e secas a 20 °C recipiente com 10% de umidade relativa, utilizando sílica gel como agente dessecante, até atingirem o conteúdo de água antes do condicionamento.

Para o teste de germinação, as sementes foram dispostas em caixas tipo gerbox contendo areia lavada e esterilizada, umedecida com água destilada, com quatro repetições de 25 sementes cada. As caixas foram incubadas em câmara de germinação, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 25 °C. A germinação foi monitorada diariamente, contabilizando-se o número de sementes germinadas (identificado pela protrusão da radícula $\geq 2\text{mm}$), e após 25 dias quanto à formação de plântulas normais, anormais, sementes mortas e duras. O tempo médio de germinação (TMG) foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962).

2.3. Análises bioquímicas

Para a realização das análises bioquímicas, as sementes previamente condicionadas e secadas foram maceradas em nitrogênio líquido. Foram utilizados 100 mg de sementes maceradas para extração de enzimas para análises bioquímicas. As amostras foram armazenadas em ultrafreezer (-80 °C) até o momento das análises. Para as análises de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), utilizou-se polivinilpolipirrolidona (PVPP) como agente adsorvente. Não foram realizadas análises para o hidrocondicionamento, uma vez que esse tratamento não apresentou efeito significativo nas

análises fisiológicas em comparação ao controle.

2.4. Peroxidação lipídica e quantificação de peróxido de hidrogênio

A peroxidação lipídica foi quantificada por meio da determinação dos níveis de malondialdeído (MDA), conforme descrito por Hodges et al. (1999). Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de etanol a 80%, sendo posteriormente centrifugadas e o sobrenadante coletado. Este procedimento foi repetido três vezes, resultando em um volume final de 3 mL. A reação foi conduzida com 1 mL do extrato e 1 mL de uma solução composta por ácido tricloroacético (TCA) a 20%, ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,65% e butil-hidroxitolueno (BHT) a 0,01%. A peroxidação lipídica foi estimada pela leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 440, 532 e 600 nm. A quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguiu o protocolo de Velikova et al. (2000). Para isso, 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 1 mL de TCA a 0,1%. Após centrifugação, o sobrenadante foi colocado para reação em tampão fosfato de potássio 10 mM (KH_2PO_4) pH 7,0 e iodeto de potássio (KI). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm, utilizando uma curva padrão para a quantificação do H_2O_2 .

2.5. Enzimas do sistema antioxidante

A atividade do sistema antioxidante enzimático, incluindo superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), foi avaliada em sementes secas após o condicionamento fisiológico. Os extratos enzimáticos foram preparados conforme o protocolo descrito por Biemelt et al. (1998), onde 100 mg de sementes foram maceradas em nitrogênio líquido na presença de polivinilpirrolidona (PVPP), sendo adicionados 1,5 mL de tampão de extração composto por fosfato de potássio 400 mM (pH 7,8), EDTA 10 mM e ácido ascórbico 200 mM. A mistura foi centrifugada a 13.000 g por 10 minutos a 4 °C, e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação das atividades enzimáticas. A atividade da SOD foi determinada pela capacidade da enzima de inibir a fotoredução do nitroblue tetrazolium (NBT), conforme Giannopolitis e Ries (1977). As leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm. A atividade da CAT foi realizada de acordo com Havir e McHale (1987), baseada na redução da absorbância a 240 nm, monitorada a cada 15 segundos durante 3 minutos, devido à decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

2.6.Extração e quantificação de Alfa-amilase

Amostras de 100 mg de sementes já condicionadas e secas foram maceradas em nitrogênio líquido. A cada amostra foi adicionado 1 mL de água destilada gelada para a extração enzimática. A mistura foi mantida em banho de resfriamento a 4 °C por 10 minutos e em seguida foi centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante resultante foi utilizado como extrato bruto. A atividade da α -amilase foi quantificada utilizando uma versão modificada do método do ácido 3,5-dinitrosalicílico, conforme descrito por Miller (1959). O extrato enzimático bruto foi aquecido por 15 minutos a 70 °C. Em seguida, 1 mL do extrato foi misturado com 1 mL de amido solúvel a 1%, dissolvido em tampão acetato de sódio (pH 5,6). A mistura foi incubada por 15 minutos a 40 °C e, em seguida, fervida por 5 minutos na presença de 2 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico. A quantidade de açúcares redutores liberados foi determinada por espectrofotometria UV-visível a 540 nm, utilizando maltose como padrão.

2.7. Emergência de plântulas em condição de viveiro.

As sementes condicionadas foram também avaliadas em condições de viveiro, com a semeadura realizada em sementeiras de 80 x 200 cm, utilizando areia lavada como substrato. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com irrigação aplicada duas vezes ao dia. A emergência das plântulas foi monitorada diariamente. A contagem das plântulas emergidas foi realizada no momento que o cotilédone rompeu a superfície do substrato. Após 30 dias, as plântulas foram retiradas das sementeiras e avaliadas quanto ao comprimento da parte aérea e do sistema radicular. Para essa avaliação, foram selecionadas aleatoriamente 40 plântulas por tratamento. O excesso de substrato foi removido cuidadosamente do sistema radicular, e as plântulas foram dispostas em bandejas com papel umedecido para evitar a perda de turgor até a avaliação. O comprimento das plântulas foi medido utilizando o software ImageJ.

2.8. Armazenamento de sementes condicionadas

Após o condicionamento e a secagem das sementes, estas foram armazenadas em tubos plásticos e mantidas em congelador a uma temperatura de -20 °C. Para cada tratamento, foram preparadas 12 amostras, cada uma contendo 100 sementes. Mensalmente, uma amostra de cada tratamento foi retirada para análise da viabilidade por meio do teste de germinação.

2.9. Análise dos dados

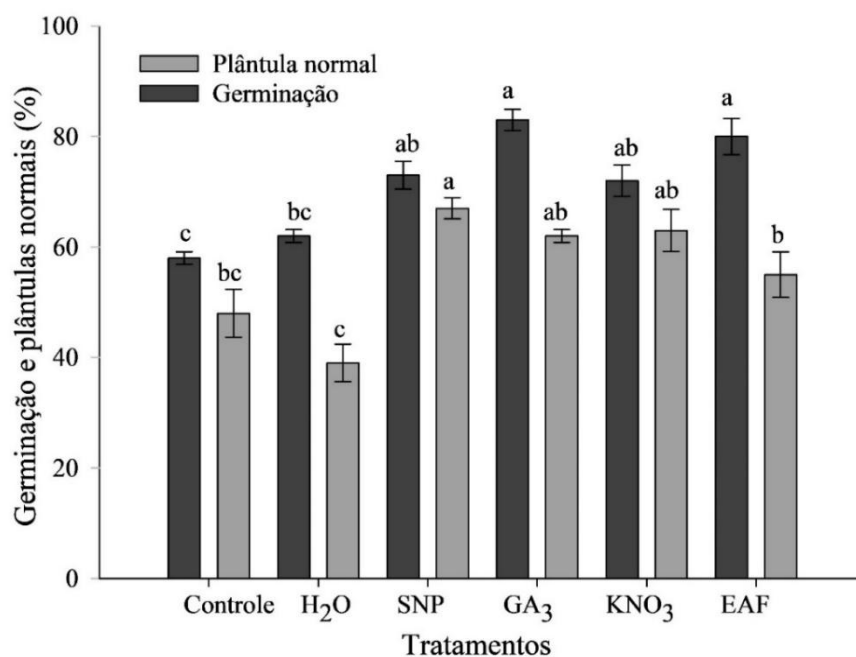
Para a germinação em laboratório e análises bioquímicas utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado. A análise da emergência em viveiro foi conduzida em um delineamento em blocos casualizados. Os dados foram testados quanto à normalidade utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) e homoscedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0.05$), e submetidos à ANOVA. Os dados foram comparados pelo teste de médias de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote de *software* RStudio. Posteriormente, foi avaliada a correlação entre as variáveis fisiológicas e bioquímicas por meio da correlação de *Pearson* e para os dados de armazenamento foram realizadas análises de regressão, ambos utilizando o pacote de *software* RStudio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condicionamento fisiológico.

Verificou-se que após o condicionamento das sementes de *M. urundeuva*, GA₃ e EAF afetaram positivamente o desempenho das sementes quando avaliadas a germinação e a formação de plântulas normais. O condicionamento com SNP e KNO₃ apresentou resultados intermediários, enquanto no hidrocondicionamento (H₂O) e controle foram observados os menores valores de germinação e formação de plântulas normais (Figura 1).

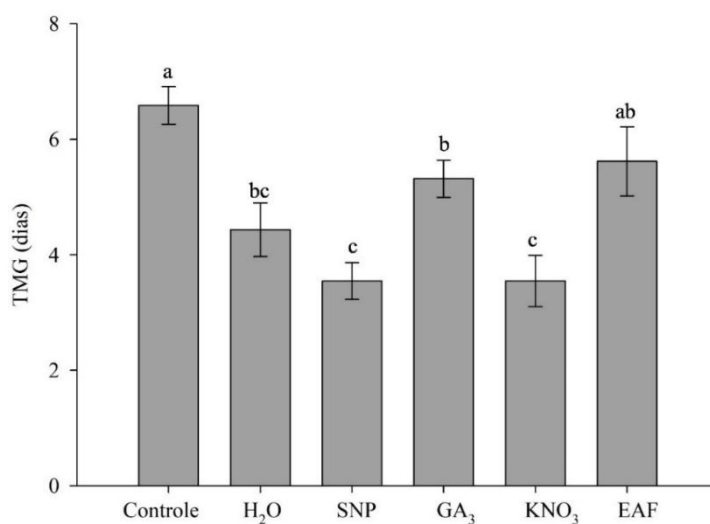
Figura 1- Porcentagem de germinação e plântulas normais de sementes de *Myracrodruon urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Quando analisado o tempo médio de germinação (TMG), o condicionamento em SNP e KNO₃ foram os que, apesar de não terem sido os tratamentos com maior porcentual de germinação, apresentaram a germinação mais rápida (Figura 2).

Figura 2- Tempo médio de germinação de sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Ao submeter as sementes de *Myracrodruon urundeuva* aos tratamentos de condicionamento fisiológico, foi possível observar que o uso de moléculas sinalizadoras induziu alterações fisiológicas nas sementes levando ao aumento da germinação e emergência, redução de tempo de germinação e crescimento de plântulas em sementeira.

Dentre as moléculas utilizadas, as que apresentaram os melhores resultados para germinação foram a GA₃ e o EAF (Figura 1). O GA₃ é reconhecido como responsável por desempenhar um papel importante durante as fases iniciais e finais da germinação das sementes atuando como uma molécula sinalizadora essencial para a germinação, promovendo a degradação das proteínas (Hedden *et al.*, 2020).

Em estudo com sementes de *Brassica napus* (Khan *et al.*, 2020) e *Cyclamen persicum* (Cornea *et al.*, 2022), foi verificado que o condicionamento das sementes com GA₃ aumentou a germinação das sementes em condições de presença e ausência de estresse hídrico, além de aumentar o crescimento das plântulas. Em sementes de *Hordeum vulgare L.* foi observado que com a embebição em ácido giberélico houve estímulo da germinação das sementes que apresentavam dormência (Ma *et al.*, 2017).

O extrato aquoso de fumaça (EAF) é um composto bioativo, que se destaca para uso como uma alternativa limpa na agricultura (Wang *et al.*, 2019). Tem sido usado com sucesso para melhoria do desempenho das sementes, alterando de forma positiva as respostas do sistema de defesa antioxidante contra o estresse oxidativo (Ofoe *et al.*, 2022).

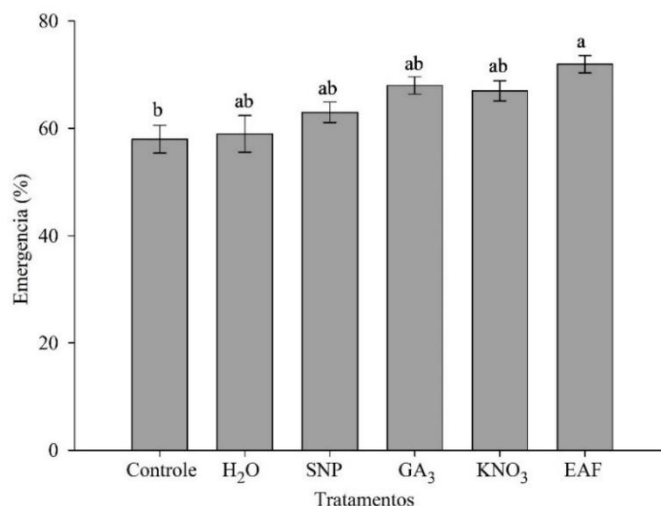
Hodges *et al.*, (2021), testando o uso de extrato aquoso de fumaça em sementes de espécies de Poaceae nativas australianas verificaram que esse composto melhora a germinação e emergência das sementes. Motta *et al.*, (2024), encontraram efeito positivo na germinação de 26 espécies, das 40 estudadas, concluindo que além da concentração, o efeito desse composto é dependente da espécie.

Na formação de plântulas normais (Figura 1) e no tempo médio de germinação (Figura 2) o uso de SNP e KNO₃ proporcionou melhor resultado. Enquanto o SNP atua como doador de óxido nítrico, melhorando a permeabilidade da membrana plasmática e regulando a absorção de água pelas sementes, acelerando os processos metabólicos essenciais para a germinação (Coban *et al.* 2023), o KNO₃ durante condicionamento das sementes ajuda a mitigar os efeitos adversos de condições ambientais desfavoráveis além de contribuir para a aceleração da divisão celular, no transporte de proteínas armazenadas, aumentando a velocidade de germinação das sementes (Mogharabi *et al.*, 2020).

3.2. Teste de emergência

O condicionamento das sementes afetou positivamente a resposta no teste de emergência em sementeira (Figura 3). Porém, somente o condicionamento em EAF apresentou resultado estatisticamente diferente do controle ($p < 0.05$).

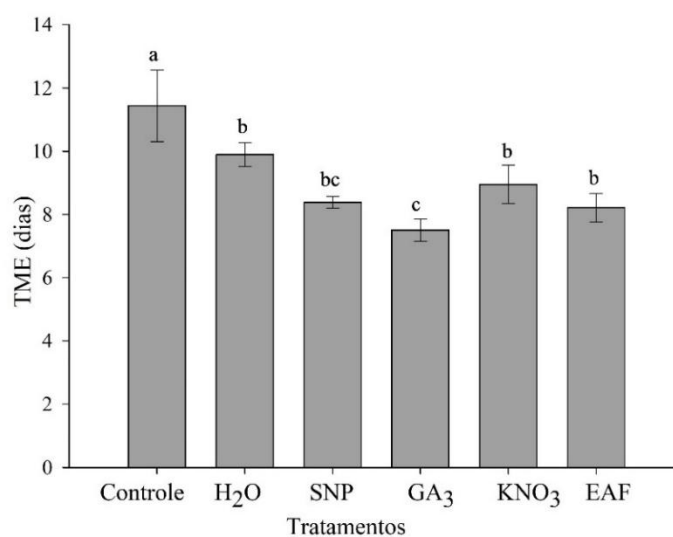
Figura 3- Emergência em sementeira de sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O), nitroprussiato de sódio $10 \mu M$ (SNP), ácido giberélico $2,5 \mu M$ (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025).

Na análise de tempo médio de emergência (TME), observou-se que o controle apresentou o maior tempo médio de emergência (aproximadamente 12 dias), sendo estatisticamente superior aos demais (Figura 4). O condicionamento em SNP e GA_3 foram os tratamentos mais eficientes na redução do tempo médio de germinação.

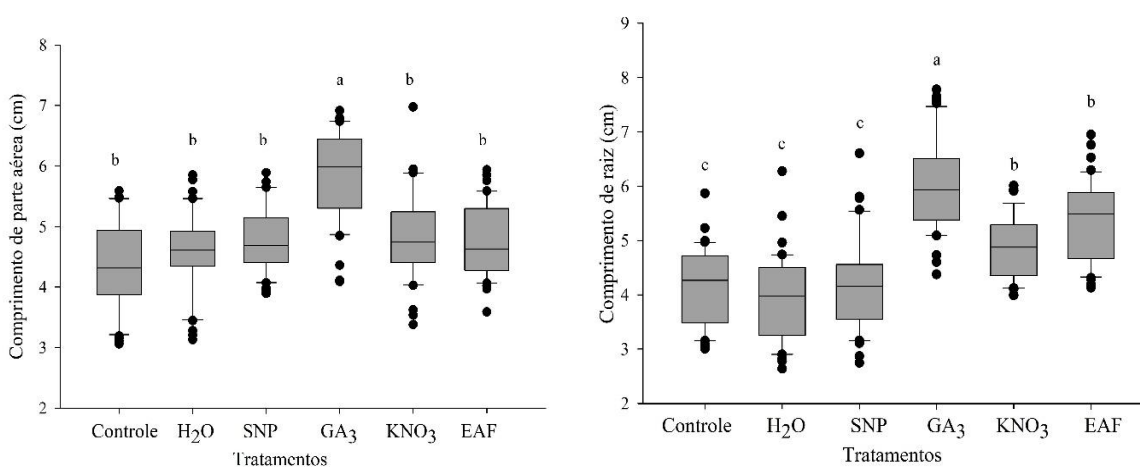
Figura 4- Tempo médio de emergência de sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H_2O), nitroprussiato de sódio $10 \mu M$ (SNP), ácido giberélico $2,5 \mu M$ (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025)

No crescimento de parte aérea e de raiz observou-se que o tratamento com GA₃ apresentou maior crescimento em relação aos outros tratamentos (Figura 5).

Figura 5- Análise boxplot do crescimento da parte aérea (A) e radicular (B) de plântulas de *M. urundeuva* após o condicionamento das sementes. Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 10 μ M (SNP), ácido giberélico 2,5 μ M (GA₃), nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025)

A germinação sob condições ideais é um dos principais indicadores da qualidade dos lotes de sementes; no entanto, a avaliação sob condições ambientais menos controladas pode

fornecer informações mais precisas sobre o desempenho real das sementes. Nesse contexto, os resultados de emergência em sementeira mostraram que o tratamento com extrato aquoso de fumaça foi o único com resultados superiores ao controle (Figura 3), entretanto, quando avaliado o tempo médio de emergência (Figura 4), observou-se que todos os tratamentos reduziram esta variável.

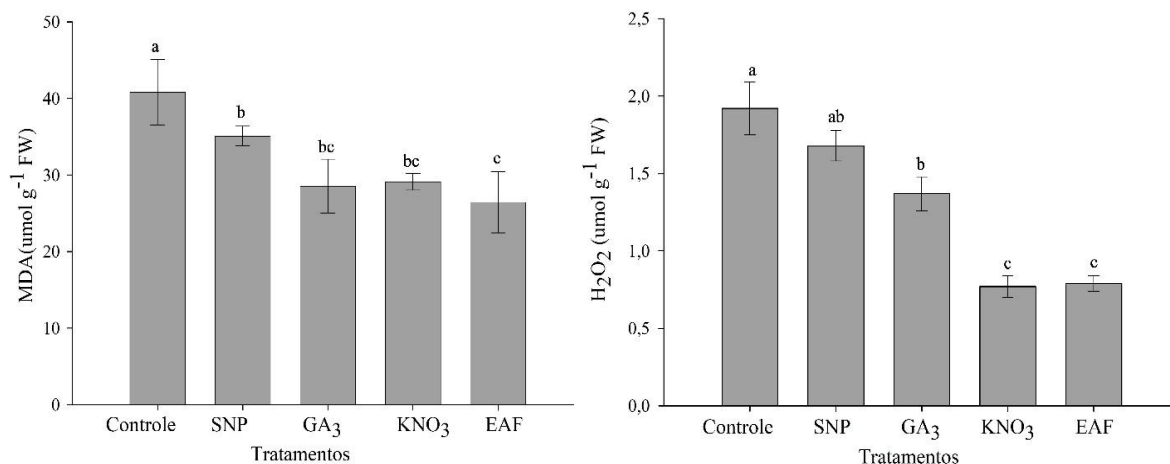
O condicionamento com GA₃ aumentou o crescimento das plântulas. Esse maior crescimento inicial pode resultar em mudas mais vigorosas e bem desenvolvidas com maior taxa de sobrevivência e melhor desempenho no viveiro, aumentando a chance de estabelecimento. Esse resultado é corroborado por pesquisas que também fizeram o uso de GA₃. Nessas, a aplicação exógena de ácido giberélico também favoreceu a germinação de sementes e o subsequente crescimento das plântulas sob diferentes condições, em diversas espécies vegetais (Shani *et al.*, 2024).

3.3. Análises bioquímicas

Foram verificadas diferenças significativas no conteúdo de MDA (malondialdeído) quando comparados os diferentes tratamentos (Controle, SNP, GA₃, KNO₃, EAF). O maior valor de MDA foi encontrado em sementes não condicionadas (controle), sendo significativamente superior aos demais tratamentos. O condicionamento com SNP reduziu o teor de MDA em relação ao controle, mas ainda assim foi significativamente superior aos demais tratamentos. Os tratamentos GA₃ e KNO₃ apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si, porém ambos foram inferiores ao SNP. O tratamento EAF apresentou o menor teor de MDA, sendo estatisticamente diferente do controle e do SNP (Figura 6).

Quando analisado o conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) nas sementes, observou-se maior conteúdo de H₂O₂ no controle em comparação a sementes condicionadas, com valores decrescentes quando condicionadas em SNP, GA₃, KNO₃ e EAF.

Figura 6- Teor de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico. Controle (sementes não condicionadas, nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

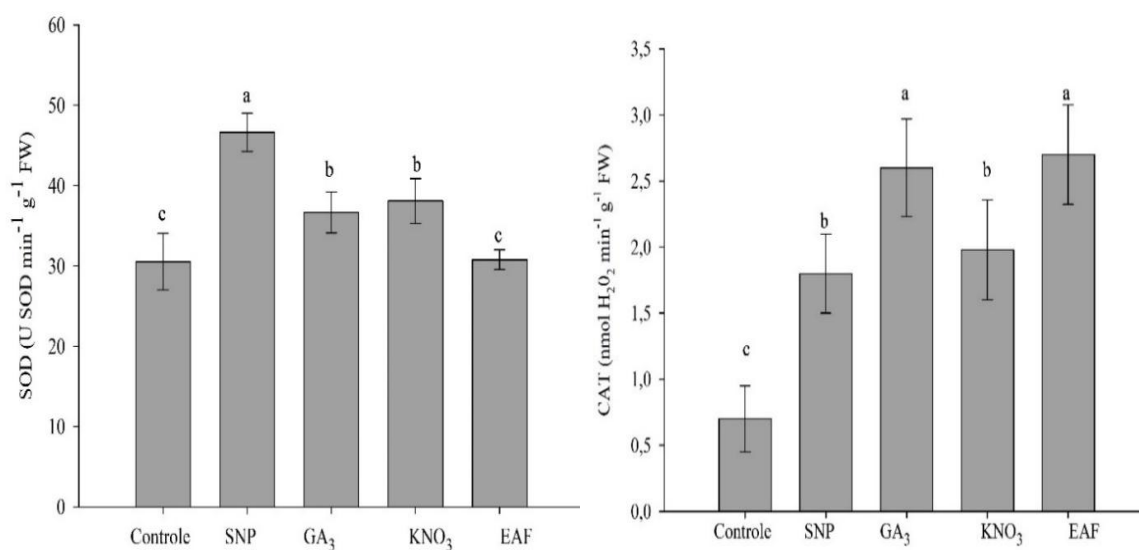


Fonte: Da autora (2025)

Foi verificado efeito significativo do condicionamento ($p < 0,05$) sobre a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT).

Para a enzima SOD, o condicionamento em SNP, GA₃ e KNO₃ induziram maior atividade da enzima, enquanto que para a CAT, todos os tratamentos de condicionamento resultaram em maior atividade enzimática (Figura 7).

Figura 7- Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 0,02% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

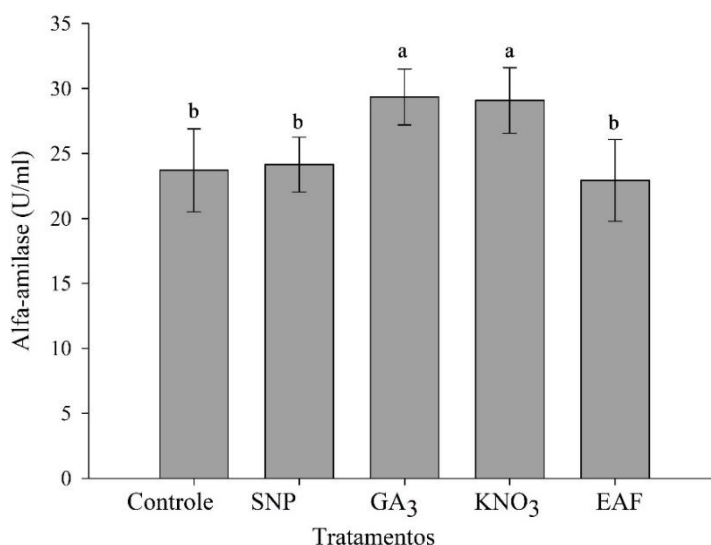


Fonte: Da autora (2025).

A atividade da enzima alfa-amilase foi alterada significativamente após o

condicionamento em GA_3 e KNO_3 (Figura 8). Os demais tratamentos não tiveram efeito sobre a atividade dessa enzima, quando comparados ao controle.

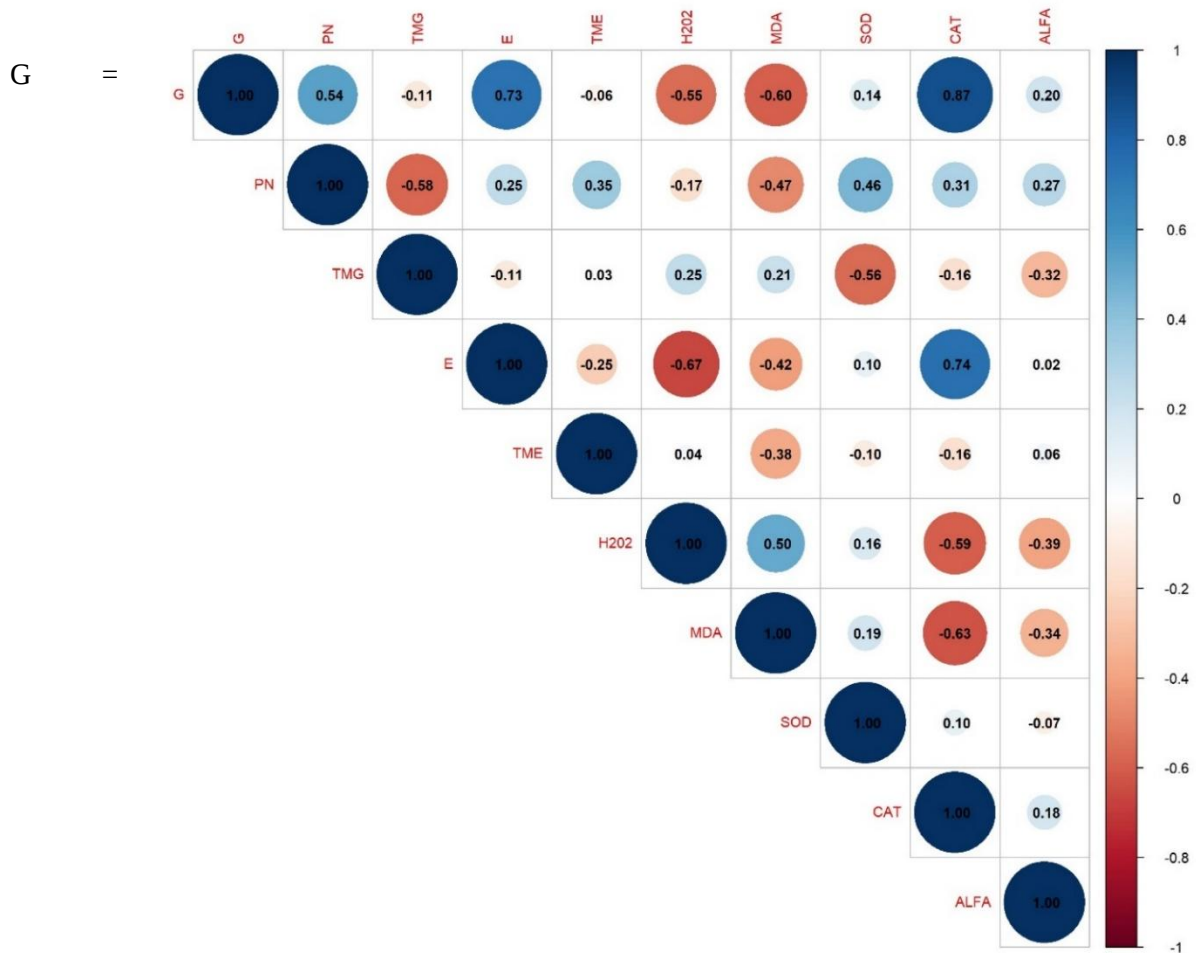
Figura 8- Atividade da enzima Alfa-amilase em sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF). Letras iguais não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.



Fonte: Da autora (2025)

Através da correlação de *Pearson* (Figura 9) foram correlacionados os dados fisiológicos e bioquímicos observando uma correlação positiva significativa entre a germinação ($r = 0,87$), emergência ($r = 0,74$) e atividade da enzima catalase, enquanto o teor de MDA apresentou uma correlação negativa significativa com a germinação ($r = -0,60$). Da mesma forma, também foi encontrada correlação negativa entre o conteúdo de H_2O_2 e a taxa de germinação ($r = -0,55$) e emergência ($r = -0,67$).

Figura 9 - Análise de correlação de *Pearson* dos índices fisiológicos e bioquímicos em sementes de *M. urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), nitroprussiato de sódio 10 μM (SNP), ácido giberélico 2,5 μM (GA_3) nitrato de potássio 2,5% (KNO_3), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF).



germinação; PN = plântulas normais; TMG = tempo médio de germinação; E= emergência; TME= tempo médio de emergência; H₂O₂ = peróxido de hidrogênio; MDA = malondialdeído; SOD = superóxido dismutase; CAT = catalase; ALFA= Alfa-amilase.

Fonte: Da autora (2025)

O estresse oxidativo ocorre quando há um desequilíbrio entre a produção de moléculas oxidantes e a capacidade do sistema antioxidante de neutralizá-las. Quando esse desequilíbrio favorece os oxidantes, inicia-se um processo de danos oxidativos, incluindo a peroxidação lipídica, que compromete a integridade das membranas celulares. Esse processo leva à degradação estrutural e funcional das células, resultando em prejuízos aos tecidos e órgãos, afetando o metabolismo e a viabilidade celular (Ayala *et al.*, 2014).

Quando avaliados o conteúdo H₂O₂ e MDA (Figura 6) e realizada uma correlação entre os dados bioquímicos e fisiológicos (Figura 9), foi observado que tanto o MDA, quanto o peróxido de hidrogênio apresentaram correlação negativa significativa com a germinação e emergência, indicando que a peroxidação lipídica pode estar associada a redução da viabilidade das sementes.

Esses resultados indicam que as moléculas sinalizadoras podem ativar os mecanismos antioxidantes, reduzindo o estresse oxidativo durante a germinação. Isso foi observado em sementes de *Cannabis sativa* (Du *et al.*, 2022), *Gossypium hirsutum* (Guaraldo, *et al.*, 2023) e *Hordeum vulgare* (Hessini *et al.*, 2023) quando foram condicionadas solução de GA₃. O efeito positivo do condicionamento nesses trabalhos foi associado à redução nas concentrações de MDA.

A enzima catalase (CAT) desempenha um papel essencial na desintoxicação das espécies reativas de oxigênio (EROs), principalmente quando os níveis de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) estão elevados, garantindo a proteção celular contra danos oxidativos (Dubey *et al.*, 2011). A partir dos resultados, foi observada correlação significativa positiva da atividade enzima catalase com germinação e emergência. Por outro lado, houve relação negativa com o conteúdo de MDA e H₂O₂.

A atividade das enzimas antioxidantes catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) foi intensificada após o condicionamento de sementes de ervilha em solução com nitrato de potássio (KNO₃), promovendo o aumento na germinação da espécie (Tiwari *et al.*, 2021). De forma semelhante, em sementes de *Urochloa ruziziensis*, observou-se que o condicionamento com ácido giberélico (GA₃), nitroprussiato de sódio (SNP) e KNO₃ influenciou positivamente a atividade de CAT e SOD, resultando em maior porcentagem e velocidade de germinação (Oliveira *et al.*, 2022).

A alfa-amilase é uma enzima associada à hidrólise do amido presente no endosperma, o qual fornece energia para o crescimento da plântula (Lopes *et al.*, 2018; Diniz *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2018). A maior atividade dessa enzima foi verificada em sementes condicionadas com GA₃ e KNO₃ esses compostos pode estar associada a maior liberação de energia, o que favoreceu o crescimento das plântulas de *M. urundeuva*.

3.4. Armazenamento

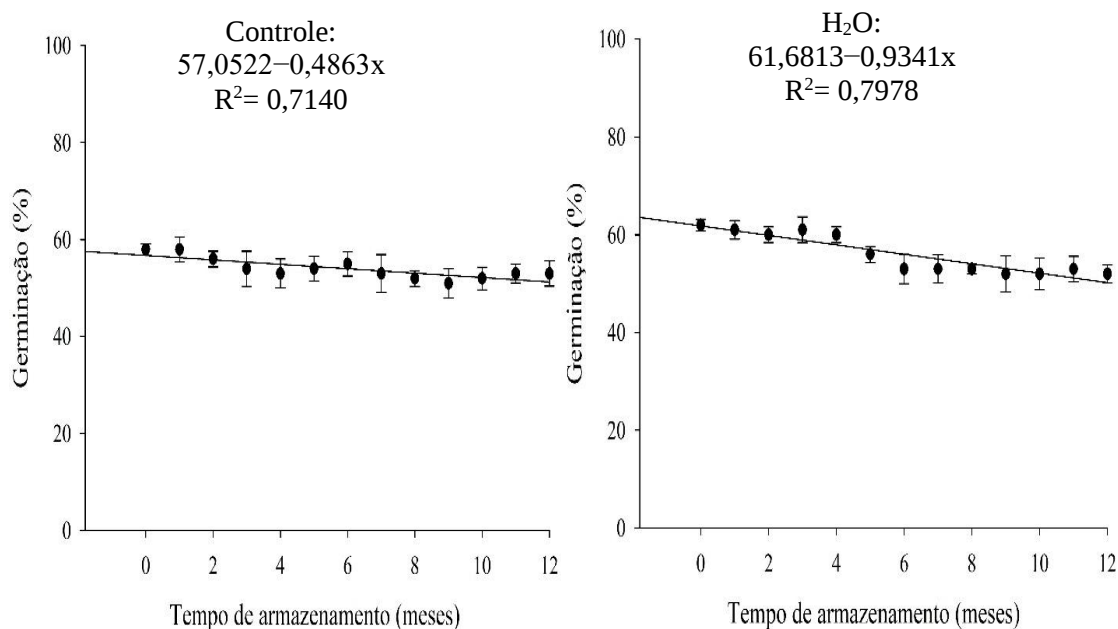
Durante o armazenamento das sementes condicionadas verificou-se efeito significativo (P<0,01) dos tratamentos de condicionamento e do tempo de armazenamento das sementes, entretanto, a interação entre esses fatores não foi significativa, sugerindo que seus efeitos são independentes (Tabela 1).

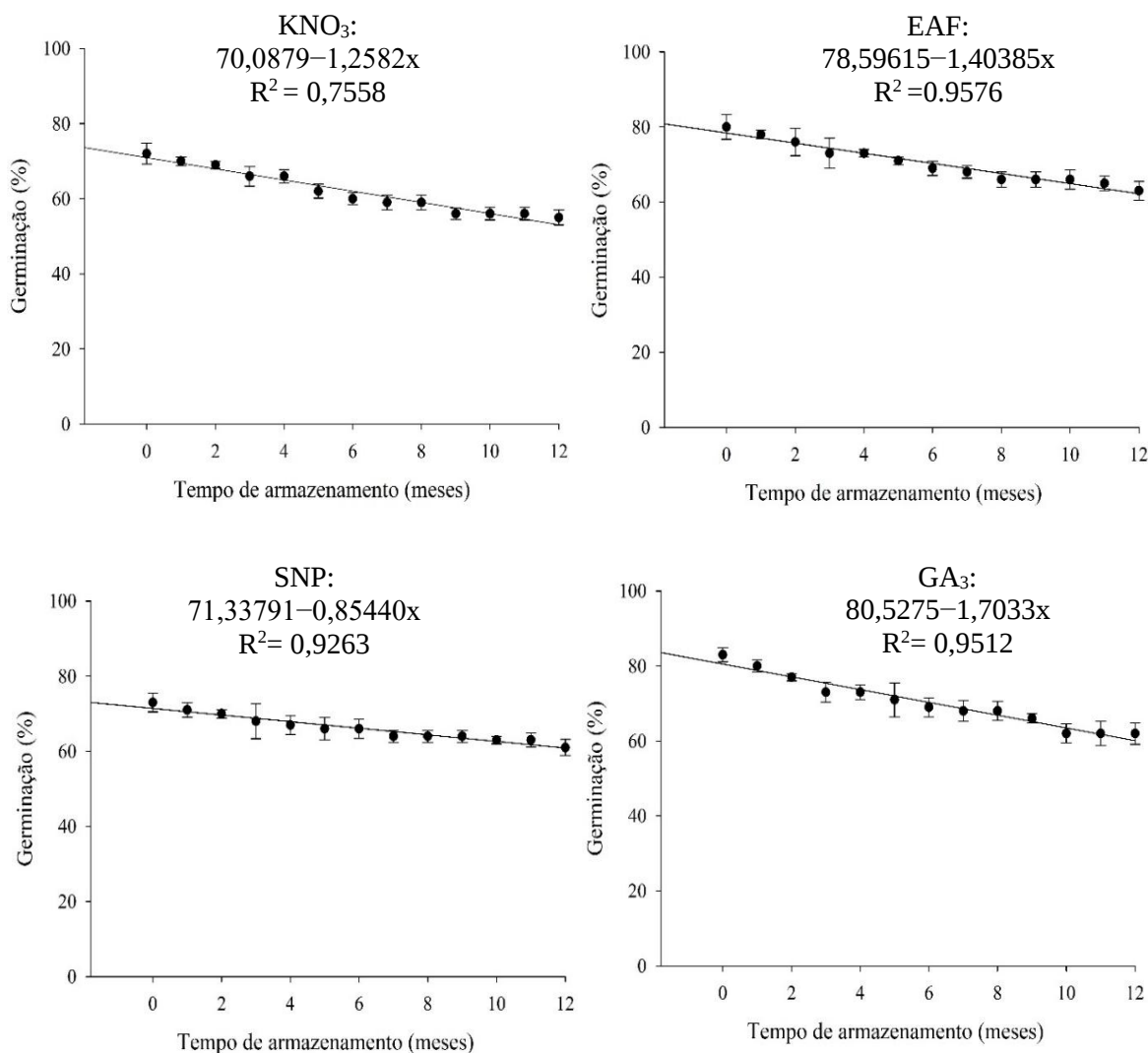
Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para a taxa de germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* submetidas a diferentes tratamentos de condicionamento fisiológico (controle, hidro, SNP, GA₃, KNO₃ e EAF) ao longo de 12 meses de armazenamento.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	5	199.70	39.941	362.52	<0,001
Tempo	12	4165	0.3471	3.15	0,00035
Tratamento × Tempo	60	6773	0.1129	1.02	0,43696
Resíduos	234	25782	0.1102		
Total	311	236428			
CV		21%			

Com base nas análises de regressão linear (Figura 10), observou-se que as sementes submetidas ao condicionamento fisiológico apresentaram redução na germinação após o período de armazenamento.

Figura 10. Análise de regressão linear para a germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* submetidas ao condicionamento fisiológico: Controle (sementes não condicionadas), hidrocondicionamento (H₂O), nitroprussiato de sódio 10 µM (SNP), ácido giberélico 2,5 µM (GA₃) nitrato de potássio 2,5% (KNO₃), extrato aquoso de fumaça 2% (EAF) e armazenadas por 12 meses.





Fonte: Da autora (2025).

A longevidade de sementes submetidas ao condicionamento ainda é pouco estudada. Em *Myracrodruon urundeuva*, observa-se que o condicionamento seguido de armazenamento resulta em redução da viabilidade. Essa redução na germinação pode ser explicada pela diminuição progressiva dos benefícios do condicionamento fisiológico, que inicialmente melhora a capacidade germinativa das sementes, mas perde eficácia ao longo do tempo (Tu *et al.*, 2022).

O desaparecimento dos efeitos de condicionamento durante o armazenamento e a redução da longevidade das sementes condicionadas podem limitar a aplicação de técnicas de condicionamento fisiológico. Em sementes de *M. urundeuva* o condicionamento com moléculas sinalizadoras manteve por maior tempo a viabilidade das sementes, sugerindo que esses tratamentos oferecem uma proteção mais duradoura contra a perda de vigor das sementes

durante o armazenamento.

Em sementes de *Coffea arabica* condicionadas apenas em água, os autores relataram que a partir do nono mês de armazenamento foi observada uma redução na taxa de germinação (Penido *et al.*, 2021), enquanto que em sementes de *Capsicum* spp. as sementes condicionadas em KNO₃ só mantiveram a viabilidade por 6 meses armazenadas a -4 °C (Tu *et al.*, 2022).

4. CONCLUSÕES

O condicionamento de sementes com GA₃, KNO₃, SNP e EAF, melhora de forma significativa a germinação, vigor e crescimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva*.

O condicionamento das sementes reduziu os conteúdos celulares de H₂O₂ e MDA, e aumentou a atividade das enzimas antioxidantes SOD e CAT.

As sementes que passaram pelo processo de condicionamento perderam a viabilidade mais rapidamente quando comparadas com as sementes não condicionadas sendo recomendado fazer a semeadura o mais rápido possível após o condicionamento.

REFERÊNCIAS

- ALI, Q. *et al.* Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, p. 50–58, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.010>.
- ALI, M. A. *et al.* Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. **Agriculture**, v. 10, n. 11, p. 498, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110498>.
- AYALA, A. **et al.** Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2014, Article ID 360438, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>.
- BRADFORD, K. J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**, v. 21, p. 1105–1111, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009. 395p
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2013. 98p.

CARMELLO-GUERREIRO, S. M. *et al.* Morphological and anatomical aspects of the seed of aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem. – Anacardiaceae), with notes on pachychalaza. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, p. 222–228, 1999.

COBAN, G. A. Effects of sodium nitroprusside on some physiological and histological responses of pepper plants exposed to salt stress. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 83, n. 6, p. 682–691, 2023.

CORNEA-CIPCIGAN, M. *et al.* Exogenously applied GA₃ enhances morphological parameters of tolerant and sensitive *Cyclamen persicum* genotypes under ambient temperature and heat stress conditions. **Plants (Basel)**, v. 11, n. 14, p. 1868, 2022. Doi.org/10.3390/plants11141868.

DHILLON, B. S. *et al.* Seed priming with potassium nitrate and gibberellic acid enhances the performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) in North-Western India. **Agronomy**, v. 11, p. 849, 2021. Doi.org/10.3390/agronomy11050849.

DINIZ, R. P. *et al.* Physiological quality and alpha-amylase expression in maize seeds produced under saline and water stress conditions. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 37–48, 2018.

DU, G. *et al.* Effects of gibberellin pre-treatment on seed germination and seedling physiology characteristics in industrial hemp under drought stress condition. **Life (Basel)**, v. 12, n. 11, p. 1907, 2022. Doi.org/10.3390/life12111907.

DUBEY, R. S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S. D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: **Science Publishers**, 2011. Chap. 9, p. 178–203.

FABRISSIN, N. S. *et al.* Ageing beautifully: can the benefits of seed priming be separated from a reduced lifespan trade-off? **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 7, p. 2312–2333, 2021. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab004>.

FERREIRA, W. R. *et al.* Germination and emergence measurements could group individuals and species? **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, n. 3, p. 457–468, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0153-y>.

GUARALDO, M. M. S. *et al.* Priming with sodium nitroprusside and hydrogen peroxide increases cotton seed tolerance to salinity and water deficit during seed germination and seedling development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 209, p. 105294, 2023.

HABIB, N. *et al.* Seed priming with sodium nitroprusside and H₂O₂ confers better yield in wheat under salinity: water relations, antioxidative defense mechanism and ion homeostasis. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 2433–2453, 2021. Doi.org/10.1007/s00344-021-10378-3.

HAVIR, E. A. *et al.* Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987. Doi.org/10.1104/pp.84.2.450.

HEDDEN, P. The current status of research on gibberellin biosynthesis. **Plant Cell Physiology**, v. 61, n. 11, p. 1832–1849, 2020. Doi.org/10.1093/pcp/pcaa092.

HERNÁNDEZ, J. A. *et al.* Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. **Seeds**, v. 1, e2, 2021. DOI: 10.3390/seeds1010002.

HESSINI, K. *et al.* Seed priming with salicylic acid alleviates salt stress toxicity in barley by suppressing ROS accumulation and improving antioxidant defense systems. **Antioxidants**, v. 12, n. 9, p. 1779, 2023. DOI: 10.3390/antiox12091779.

HODGES, D. M. *et al.* Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Plant**, v. 207, n. 1, p. 604–611, 1999. DOI: 10.1007/s004250050524.

HODGES, J. A. *et al.* Smoke and heat accelerate and increase germination in fire-prone temperate grassy ecosystems. **Ecosphere**, v. 12, n. 12, e03851, 2021. Doi.org/10.1002/ecs2.3851.

KHAN, M. N. *et al.* Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 156, p. 112850, 2020. Doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850.

LIMA, L. K. S. *et al.* Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p. 1–11, 2017.

LIU, L. *et al.* Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin periódic. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 275, 2018. Doi.org/10.3389/fpls.2018.00275

LOPES, C. A. *et al.* Primary leaf growth and coleoptile length in maize seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 40, 2018b

MA, Z. *et al.* Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. **The Crop Journal**, v. 5, n. 6, p. 459–477, 2017. ISSN 2214-5141. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.08.007.

MOGHARABI, M. *et al.* Seed priming with potassium nitrate improves germination and seedling vigor under stress conditions in tomato. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 95, n. 1, p. 23–30, 2020. DOI: 10.3390/agriculture10110498.

MOTTA, G. S. T. *et al.* Smoke effects on the germination of Cerrado species. **Plant Ecology**, v. 225, p. 685–693, 2024. Doi: 10.1007/s11258-024-01427-4

OFOE, R. *et al.* Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Chemistry and Ecology**, v. 38, n. 7, p. 634–648, 2022. DOI: 10.1080/02757540.2022.2093508.

OLIVEIRA, T. F. *et al.* Priming *Urochloa ruziziensis* (R.Germ. & Evrard) seeds with signalling molecules improves germination. **Journal of Seed Science**, v. 44, e262484, 2022. DOI: 10.1590/2317-1545v44262484.

PENIDO, A. C. *et al.* Effect of physiological priming on the quality of stored coffee seeds. **Brazilian Journal of Seeds**, v. 43, n. 2, p. 1–9, 2021. DOI: 10.1590/2317-1545v43246448.

PÉREZ, D. R. *et al.* Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs, and prospects for large-scale restoration and rehabilitation. **Restoration Ecology**, v. 27, p. 1105–1116, 2019.

RIBEIRO, E. C. G. *et al.* Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.

RIFNA, E. J. *et al.* Emerging technology applications for improving seed germination. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 95–108, 2019.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. *Análise da germinação: um enfoque estatístico*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 247–248 p. ISBN 8523007911, 2004.

SHANI, E. *et al.* Highlights in gibberellin research: A tale of the dwarf and the slender. **Plant Physiology**, v. 195, n. 1, p. 111–134, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae044>.

TRAN, T. T. *et al.* Seed priming with sodium nitroprusside enhances the growth of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under drought stress. **Plant Science Today**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.1865>.

TU, K. *et al.* Effects of seed priming on vitality and preservation of pepper seeds. **Agriculture**, v. 12, p. 603, 2022. Doi.org/10.3390/agriculture12050603.

VELIKOVA, V.; IORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59–66, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)

ZHU, Z. H. *et al.* Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties under the co-influence of low temperature and drought. **PloS One**, v. 16, n. 9, e0257236, 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0257236

TERCEIRA PARTE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam a importância do condicionamento fisiológico como estratégia para melhorar a germinação, o vigor e o estabelecimento de plântulas de espécies florestais utilizadas na restauração ecológica. As respostas variáveis entre os tratamentos e espécies analisadas reforçam a necessidade de ajustes específicos para cada espécie garantindo a máxima eficiência do condicionamento. Os testes fisiológicos e bioquímicos demonstraram que o condicionamento influencia diretamente a atividade enzimática, reduzindo o estresse oxidativo e promovendo a mobilização de reservas, fatores essenciais para o desenvolvimento inicial das plântulas.

A redução da longevidade das sementes após o condicionamento levanta a necessidade de estratégias para minimizar esse efeito e garantir a viabilidade a longo prazo. A semeadura imediata após o tratamento se mostra como a abordagem mais eficaz para preservar os benefícios do condicionamento, evitando perdas associadas ao armazenamento prolongado.

A partir dos dados obtidos, foi observado que o condicionamento fisiológico é uma ferramenta promissora para a produção de mudas com maior potencial de estabelecimento em viveiro, contribuindo para o sucesso de programas de revegetação e conservação ambiental. Contudo, novos estudos são necessários para aprofundar a compreensão sobre os mecanismos envolvidos e definir protocolos para diferentes espécies e condições ambientais.