

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS
EM SEMENTES DE SOJA

Autora: Lara Fernanda Leite Resende
Orientadora: Juliana de Fátima Sales
Coorientadores: Heloisa Oliveira dos Santos
Oswaldo Resende

Rio Verde – GO
Maio – 2022
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA

Autora: Lara Fernanda Leite Resende

Orientadora: Juliana de Fátima Sales

Coorientadores: Heloisa Oliveira dos Santos

Oswaldo Resende

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, ao programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO

Maio – 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

RR433m Resende, Lara Fernanda Leite
MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA
A ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA / Lara
Fernanda Leite Resende; orientadora Juliana de
Fátima Sales; co-orientadora Heloisa Oliveira dos
Santos. -- Rio Verde, 2022.
62 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências
Agrárias) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2022.

1. Glycine max. 2. Qualidade. 3.
Osmocondicionamento. 4. Pré-Tratamento. 5.
Germinação. I. Sales, Juliana de Fátima , orient. II.
Oliveira dos Santos, Heloisa, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Lara Fernanda Leite Resende

Título do trabalho:

Matrícula:

2020102310140053

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

O documento será enviado para publicação em periódicos científicos.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05 /08 /2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

· Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

· Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

· Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Lavras

05 /08 /2022

Local

Data

Lara Fernanda Leite Resende

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a)
orientador(a)

[Assinatura]



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 61/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA

Autora: Lara Fernanda Leite Resende
Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Mestrado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADO em, 27 de maio de 2022.

Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales (Presidente)
Profª. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos (Avaliadora externa)
Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Heloisa Oliveira dos Santos, Heloisa Oliveira dos Santos - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Lavras (22078679000174), em 27/05/2022 10:31:39.
- Arthur Almeida Rodrigues, Arthur Almeida Rodrigues - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 27/05/2022 10:29:23.
- Juliana de Fatima Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/05/2022 10:27:31.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 358735
Código de Autenticação: 14351bcdd8



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – IF GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A
ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA

Autora: Lara Fernanda Leite Resende

Orientadora: Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de
Concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

Aprovada em 27 de maio de 2022.

Dr. Arthur Almeida Rodrigues
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Avaliadora externa
Universidade Federal de Lavras – UFLA

Profa. Dra. Juliana de Fátima Sales
Presidente da Banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

Aos meus amados pais Leonardo Resende e
Elaine Geralda Leite Resende,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

À minha orientadora Juliana de Fátima Sales, por toda orientação, ajuda e, principalmente, pela confiança de ter me aceito como orientada durante esta etapa da minha formação.

Ao meu coorientador Osvaldo Resende, por toda ajuda, orientação, conselhos e apoio incondicional.

À minha coorientadora Heloisa, por ter aceito o convite de me orientar no meu novo projeto e pela disponibilidade prestada.

Ao Arthur, por toda ajuda e auxílio durante todo meu mestrado e por ter aceito o convite para fazer parte da banca examinadora.

A Isadora, pela colaboração na elaboração deste trabalho, pela grande ajuda na execução deste experimento e pela amizade.

Ao Bruno, por ter cedido as sementes e pela ajuda neste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, pelas contribuições e auxílio na minha formação profissional.

A toda minha família, por sempre se fazer presente em minha vida. Em especial minha mãe Elaine, minha inspiração, por toda força e incentivo nas horas difíceis e por

me fazer acreditar que tudo isso seria possível. E ao meu pai Leonardo, pela confiança em mim depositada e por sempre me apoiar em minhas escolhas.

Ao meu namorado, Pedro Lage Maia, pelo companheirismo, carinho e incentivo.

Aos amigos dos Laboratórios de Sementes e Pós-Colheita de Produtos Vegetais, por toda ajuda e amizade.

A todos os professores e funcionários do Setor de Sementes, pela amizade e ensinamentos.

Aos demais amigos do programa, pelo companheirismo e amizade durante esses anos.

Ao CNPq, FAPEG e à Capes, pelo apoio financeiro.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Muito obrigada!

BIBLIOGRAFIA DA AUTORA

LARA FERNANDA LEITE RESENDE, filha de Leonardo Resende e Elaine Geralda Leite Resende, nascida em Lavras, Minas Gerais, no dia 06 de março de 1997. Coursou o ensino fundamental no Centro Educacional NDE/UFLA – Lavras, tendo ingressado em 2012 no Impacto Centro de Ensino – Lavras, onde cursou o ensino médio, finalizando no ano de 2014. No primeiro semestre letivo do ano de 2015, iniciou o curso de graduação de Agronomia na Universidade Federal de Lavras – Lavras, Minas Gerais. Foi aluna de iniciação científica no Laboratório de Sementes durante toda a graduação. Obteve o título de Bacharel em Agronomia no dia 06 de fevereiro de 2020. Dando sequência à formação acadêmica, ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de Concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, Linha de Pesquisa Fisiologia, Bioquímica, Pós-Colheita de Produtos Vegetais, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, em março de 2020. Em maio de 2022, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	10
RESUMO	11
ASBTRACT	13
1.INTRODUÇÃO	15
1.1 A cultura da soja	15
1.2 Qualidade de sementes.....	16
1.3 Estresses abióticos na cultura da soja	17
1.4 Condicionamento fisiológico de sementes	19
1.4.1 Óxido Nítrico (ON)	21
1.4.2 Peróxido de hidrogênio.....	22
2.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
OBJETIVO GERAL.....	31
CAPÍTULO I.....	32
USO DO CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO E DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS VISANDO À TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS DURANTE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES E O DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE SOJA.....	32
RESUMO	32
USE OF PHYSIOLOGICAL CONDITIONING AND SIGNALING MOLECULES AIMING AT TOLERANCE TO ABIOTIC STRESS DURING SEED GERMINATION AND SOYBEAN SEEDLING DEVELOPMENT	Erro! Indicador não definido.
ABSTRACT	33
3.INTRODUÇÃO	34
3.1 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1.1 Aquisição da matéria-prima e local de execução do experimento	36
3.1.2 Condicionamento Fisiológico.....	36
3.1.3 Avaliações	37
3.1.4 Procedimento estatístico	38
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39

3.2.1	Teor de água, primeira contagem de germinação, germinação total e plântulas anormais das cultivares Monsoy 6410 IPRO e Monsoy 5838IPRO.....	39
3.2.2	Análise de imagem referente às cultivares Monsoy 6410 IPRO e Monsoy 5838IPRO.....	45
3.3	CONCLUSÃO	53
3.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1. Teor de água de sementes de soja (% b.u.) das cultivares I e II, antes e após a secagem, sem condicionamento fisiológico (Controle) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico.....26
- Tabela 2. Germinação de sementes de soja das cultivares I e II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....27
- Tabela 3. Primeira contagem de germinação e plântulas anormais de sementes de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....29
- Tabela 4. Primeira contagem de germinação e plântulas anormais de sementes de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....30
- Tabela 5. Comprimento da raiz primária e tamanho do hipocótilo das plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....35
- Tabela 6. Comprimento das raízes secundárias das plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....36
- Tabela 7. Comprimento da raiz primária, comprimento raízes secundárias e tamanho do hipocótilo das plântulas de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....37

Tabela 8. Comprimento total das plântulas de soja das cultivares I e II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.....38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada. A- Testemunha, B- Testemunha, C- Plântulas em condição normal condicionadas com óxido nítrico, D- Plântulas em condição normal condicionadas com peróxido de hidrogênio, E- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse hídrico, F- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse hídrico, G- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse de temperatura, H- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse de temperatura.....33

Figura 2. Plântulas de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e a condições de estresse hídrico e temperatura elevada. A- Testemunha, B- Testemunha, C- Plântulas em condição normal condicionadas com óxido nítrico, D- Plântulas em condição normal condicionadas com peróxido de hidrogênio, E- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse hídrico, F- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse hídrico, G- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse de temperatura, H- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse de temperatura.
.....34

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

CH	comprimento hipocótilo
CRP	comprimento da raiz primária
CRS	comprimento das raízes secundárias
CT	comprimento total
H ₂ O ₂	peróxido de hidrogênio
ON	óxido nítrico
PEG	polietilenoglicol
SNP	nitroprussiato de sódio

RESUMO

RESENDE, LARA FERNANDA LEITE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, maio de 2022. **Moléculas sinalizadoras para indução de tolerância a estresses abióticos em sementes de soja.** Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales. Coorientadores: Heloisa Oliveira dos Santos e Osvaldo Resende.

A cultura da soja desponta como uma das mais importantes commodities brasileiras, e novas tecnologias vêm sendo incorporadas aos sistemas de produção e aos programas de melhoramento genético no intuito de melhorar a qualidade das sementes. Nesse sentido, o condicionamento fisiológico de sementes de soja se apresenta como uma alternativa promitente visando aos benefícios na germinação e na emergência de plântulas, sobretudo sob condições menos favoráveis, como exemplo a seca e temperaturas extremas. Assim, no presente trabalho, objetivou-se estudar a eficiência do uso de moléculas sinalizadoras na indução de tolerância a estresses abióticos na cultura da soja pela utilização do condicionamento fisiológico em sementes de duas cultivares, cultivar I (precoce) e cultivar II (tardia). As sementes colhidas na safra 2020/2021 foram levadas para o laboratório e submetidas ao condicionamento fisiológico, utilizando duas substâncias condicionantes, o óxido nítrico e o peróxido de hidrogênio, tendo sido submetidas ao estresse por temperatura elevada a 38°C e restrição hídrica induzida por soluções de PEG. Após os tratamentos, a qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelos testes de teor de água, primeira contagem de germinação, germinação final, comprimento da raiz primária e raízes

secundárias, tamanho do hipocótilo e crescimento total. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial duplo $3 \times 2 + 1$, sendo 3 tratamentos (óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e condição normal), 2 estresses (hídrico e de temperatura), além do controle para cada cultivar. Para a comparação do controle com os tratamentos resultantes do fatorial, quando significativo, foi feito o teste de Dunnett. O condicionamento utilizando as moléculas sinalizadoras de óxido nítrico e peróxido de hidrogênio não reduziu o potencial germinativo das sementes de soja. O condicionamento de sementes de soja não contribuiu para o desenvolvimento das raízes primárias e secundárias das plântulas, tanto para a cultivar I quanto para a cultivar II.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*, Qualidade, Pré-Tratamento, Osmocondicionamento, Priming, Germinação.

ASBTRACT

RESENDE, LARA FERNANDA LEITE. Goiano Federal Institute of Education, Science, and Technology, May 2022. **Signaling molecules to induce the tolerance to abiotic stresses in soybean seeds.** Advisor: Prof. Dr. Sales, Juliana de Fátima. Co-advisors: Prof. Dr. Sales, Heloisa Oliveira dos; Prof. Dr. Resende, Osvaldo.

Soybean culture is emerging as one of the most important Brazilian commodities, and new technologies have been incorporated into production systems and genetic improvement programs to improve its seed quality. In this sense, the physiological conditioning of soybean seeds presents itself as a promising alternative, aiming to benefit the seedling germination and emergence, especially under less favorable conditions, such as drought and extreme temperatures. Thus, this paper aimed to study the efficiency of using signaling molecules to induce the tolerance to abiotic stresses in soybean crop, using physiological conditioning in seeds of two cultivars, cultivar I (early) and cultivar II (late). The seeds from the 2020/2021 harvest were taken to the laboratory and submitted to physiological conditioning with two conditioning substances, the nitric oxide and the hydrogen peroxide, then, submitted to high temperature stress at 38 °C and water restriction induced by Polyethylene glycol solution (PEG). After the treatments, the seed physiological quality was evaluated by the test of moisture content, first germination count, final germination, length of primary and secondary roots, hypocotyl size, and total growth. A completely randomized design was used with a double factorial scheme $3 \times 2 \times + 1$, three treatments (nitric oxide, hydrogen peroxide, and normal condition), two stresses (water

and temperature), in addition to the control for each cultivar. The Dunnett test was carried out to compare the control with the treatments resulting from the factorial when significant. Conditioning using the signaling molecules of nitric oxide and hydrogen peroxide does not reduce the germination potential of soybean seeds. Soybean seed conditioning does not contribute to the development of seedling primary and secondary roots for both cultivar I and cultivar II.

KEYWORDS: *Glycine max.* Germination. Osmoconditioning. Pre-treatment. Priming. Quality.

1. INTRODUÇÃO

1.1 A cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] pertence à família Fabaceae (Leguminosae). Trata-se de uma planta herbácea, dicotiledônea, autógama, anual, de porte ereto, que tem como centro de origem a China. Há mais de 4850 anos a soja vem sendo utilizada pela humanidade, embora somente na década de 50 foi iniciado seu uso como um produto comercial. Sua chegada no Brasil aconteceu somente em 1882 na Bahia (EMBRAPA, 2021).

É uma planta com ampla variabilidade genética sendo considerada uma das mais importantes oleaginosas, ocupando uma posição de destaque no cenário agrícola nacional e internacional. Apresenta um elevado valor nutritivo atrelado a um grande potencial produtivo, sendo utilizada na alimentação humana e, principalmente, na alimentação animal. Esse valor nutricional está diretamente ligado às proteínas, lipídeos, açúcares, minerais e vitaminas, presentes nesse grão (FREIRIA et al., 2016).

A utilização dos grãos de soja na indústria química, farmacêutica, agroindustrial e na produção de óleo e farelo é cada vez mais crescente (GABBI et al., 2022). O processamento da soja possibilita uma série de produtos secundários, utilizados como insumos industriais em diversas linhas de processamento, abrangendo um leque de possibilidades no seu uso, resultando em redes de agronegócios, gerando empregos, oportunidades de crescimento social e riqueza nacional, correspondendo a mais 10% do valor total do comércio agrícola (USDA, 2020).

A soja é considerada uma planta de dias curtos, dependente do fotoperíodo (TEJO et al., 2019) e de uma disponibilidade hídrica adequada. A demanda de água para esta cultura varia de acordo com cada cultivar, estágio fenológico e condições climáticas, que, de maneira geral, estão entre 450 e 800 mm durante o ciclo todo. Devido a essas características, seu cultivo se torna restrito a determinadas regiões (CORRÊA et al., 2021).

As sementes de soja são responsáveis por mais de 50% da produtividade final dos grãos, e o uso de sementes de alta qualidade é fundamental para o sucesso do cultivo no campo. Para uma semente ser classificada de qualidade, ela deve apresentar alto índice de germinação, vigor e sanidade. A qualidade fisiológica das sementes de soja pode ser afetada por diversos fatores e, em razão de ser uma cultura altamente dependente de condições climáticas, sua produção pode ser afetada por diversos fatores abióticos, como, por exemplo, o déficit hídrico, considerado um dos principais fatores limitantes do desempenho e da produtividade das plantas (BOYER, 1982; RIBAS-CARBO et al., 2005). O estresse por déficit hídrico tem se tornado cada vez mais frequente e pode acarretar diminuição do rendimento médio em até 40% da produtividade (PATHAN et al., 2007; AKPINAR et al., 2013).

O crescimento acelerado da população mundial, sendo estimado que até o ano de 2030 a população global passará para 8,6 bilhões de habitantes (Agência Brasil, 2017), demandará mais alimentos. Diante desse cenário, haverá aumento na demanda por soja, tendo em vista ser uma das principais fontes de proteína.

Contudo, para suprir a demanda por este produto, é necessário investimento em tecnologias que colaborem para o desenvolvimento do melhoramento genético desta cultura no sentido de obter cultivares mais adaptadas às diferentes latitudes e condições climáticas, com alta capacidade produtiva e menor custo de produção. Uma alternativa promissora é o uso do condicionamento fisiológico, com a finalidade de melhorar a germinação das sementes, mesmo sob condições desfavoráveis (BARROS, 2017; TATARI et al., 2020).

1.2 Qualidade de sementes

A semente é o principal insumo da agricultura, sendo sua escolha um fator determinante para o êxito de qualquer cultura, pois é ela que determina o potencial produtivo da futura planta. O uso de sementes de alta qualidade influencia todo o sistema de produção e visa à otimização de padrões quantitativos e qualitativos (CHIPENETE et al., 2022).

A qualidade da semente é expressa pela interação entre quatro fatores: genético (características intrínsecas da cultivar, conferindo uma lavoura mais homogênea); fisiológico (características metabólicas, conferindo potencial de longevidade da semente e sua capacidade para gerar uma planta perfeita e vigorosa); físico (pureza

física do lote e condição física da semente); e sanitário (presença de patógenos que afetam a viabilidade e o vigor das sementes) (MARCOS FILHO, 2015). Estes atributos são responsáveis por conferir qualidade às sementes e garantir elevado desempenho agrônômico da lavoura.

No Brasil, de acordo com a Instrução Normativa nº. 10.711, de 05 de agosto de 2000, o Sistema Nacional de Sementes e Mudas tem como objetivo garantir a identidade e a qualidade do material de multiplicação e de reprodução vegetal produzido, comercializado e utilizado em todo o país. Em virtude dessa lei, o sistema de produção de sementes é o de certificação, que oferta sementes certificadas C1 e C2.

A qualidade é garantida por padrões mínimos de germinação, pureza física e varietal, exigidos por normas de produção e comercialização estabelecidas e controladas pelo governo federal. A certificação de sementes é o sistema mais seguro e eficiente para garantir a qualidade do produto em um sistema de proteção varietal. (HENNING; FRANÇA NETO, 2021).

A utilização de sementes com alta qualidade fisiológica, genética, física e sanitária é imprescindível por possibilitar maior capacidade de suportar condições adversas, além de evitar contaminação genética e física (ZHENG et al., 2016; AMARO et al., 2019; DECARLI et al., 2019). Em condições de estresse por altas temperaturas e falta de água, por exemplo, as sementes no geral perdem qualidade, mas as sementes de baixo vigor tendem a ser mais afetadas por essas condições, reduzindo rapidamente velocidade e a percentagem de germinação.

Dessa forma, há uma busca incessante pelo mercado interno e externo por técnicas para auxiliar na diminuição dos impactos causados pela ocorrência de estresses abióticos, visando à produção de sementes com elevada qualidade fisiológica com baixo custo, possibilitando uniformidade do dossel de plantas no campo. Nesse cenário, um dos métodos que vêm sendo utilizados para minimizar essa problemática é o condicionamento de sementes com moléculas sinalizadoras, que, quando aplicado de forma correta, pode melhorar o desempenho de germinação ainda que sob condições de estresse, garantindo uma germinação rápida e uniforme (GOUVEIA et al., 2017).

1.3 Estresses abióticos na cultura da soja

A cultura da soja assim como dos demais cultivos agrícolas está sujeita a adversidades climáticas, incluindo temperaturas baixas e também elevadas, baixa luminosidade e falta ou excesso de chuvas, fatores limitantes para a máxima produtividade de grãos (FIOREZE et al., 2011). Segundo Silva (2013), durante todo o ciclo da cultura, principalmente na região Sul do país, são comuns perdas em produtividade devidas à escassez de água, como também perdas decorrentes do excesso de chuvas durante a colheita na região Centro-Oeste.

Uma das principais causas de perda de produtividade das culturas são os estresses abióticos, que afetam diretamente o crescimento das plantas, por interferir no desenvolvimento das sementes. A germinação é a etapa mais importante para o desenvolvimento da planta e, uma vez prejudicada por condições desfavoráveis, sua sobrevivência fica comprometida. E tem sido verificado que condições de estresse na produção de espécies reativas de oxigênio podem causar danos por oxidação em membranas celulares, lipídeos e até mesmo em todo o material genético da célula. Essa oxidação acarreta desestabilidade das membranas, mutações prejudiciais e também paralisação de processos metabólicos essenciais para a sobrevivência por toxicidade, podendo levar à morte celular (OLIVEIRA, 2022).

Durante o crescimento e o desenvolvimento da soja, a temperatura é um fator limitante, que afeta o período de crescimento necessário à formação da colheita. A cultura da soja se adapta melhor a regiões em que as temperaturas variam entre 20 °C e 30 °C, sendo 30 °C considerada a temperatura ideal. Já em temperaturas inferiores a 10 °C, seu crescimento é baixo ou quase nulo, e acima de 40 °C, ocorrem efeitos adversos no metabolismo, reduzindo o crescimento da planta, sendo agravado em condições de déficit hídrico (FONTANA et al., 2001; FARIAS et al., 2007). E durante a fase de maturação, é recomendado cultivá-la em regiões de temperaturas do ar mais amenas, ou seja, inferiores a 22 °C, para a produção de sementes da leguminosa de boa qualidade (COSTA et al., 1994).

De acordo com Fontana et al. (2001), a soja tem o florescimento induzido apenas em temperaturas acima de 13 °C, em condições de altas temperaturas, o florescimento é acelerado, ocasionando diminuição da sua altura. Outro fator preponderante se refere ao fato de a cultura ser sensível ao fotoperíodo, havendo variação dessa sensibilidade entre as cultivares. As cultivares sensíveis ao fotoperíodo são denominadas de plantas de dias curtos, por terem seu florescimento induzido quando o

fotoperíodo decresce de modo igual ou inferior ao mínimo exigido pela cultivar. Já as cultivares denominadas de dias longo florescem quando o período iluminado tem duração superior ao fotoperíodo crítico.

A alta temperatura quando o grão de soja já estiver formado, aliada a altas umidades, pode causar queda da qualidade fisiológica da semente. Caso a alta temperatura esteja aliada a um baixo teor de água, pode ser ocasionado muito dano mecânico à semente durante a sua colheita (FARIAS et al., 2007). Sendo assim, a alta temperatura, na maioria das vezes, irá causar algum tipo de problema ao produtor e à qualidade da semente. Mesmo que a lavoura de soja não seja destinada à produção de sementes, ainda ocorrerão problemas como a maturação acelerada dos grãos de soja, além de favorecer a deiscência das vagens de soja, ocasionando perda do grão.

Conjuntamente, ao analisar as safras de soja de diferentes anos, nota-se que a restrição hídrica é o fator ambiental que mais impacta negativamente na cultura. A água é muito importante na fase de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, sendo que tanto seu excesso como sua falta podem prejudicar a planta. A deficiência hídrica tem efeito direto na germinação, retardando o início do seu processo, afetando o crescimento das plantas (ROSA et al., 2020).

A água faz parte de praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos, além de atuar na regulação térmica da planta. A planta de soja necessita de 450 a 800 mm de água durante todo o seu ciclo, variando em função da cultivar e das condições edafoclimáticas. A distribuição dessas chuvas, a irrigação ou armazenamento de água no solo devem ser homogêneas, pois a má distribuição da água pode acarretar produtividades insatisfatórias (FARIAS et al., 2007).

Os avanços dos programas de melhoramento genético permitiram desenvolver plantas de soja mais adaptadas a diferentes regiões climáticas, como exemplo, foi possível obter em locais de clima tropical plantas com genes capazes de prolongar o período juvenil, o que favorece o melhor desenvolvimento da cultura no Brasil (FARIAS et al., 2007; EMBRAPA, 2011).

1.4 Condicionamento fisiológico de sementes

Um dos principais fatores que cerceiam a produção das sementes de soja se refere ao uso de sementes de alta qualidade, fundamental para o sucesso do cultivo no campo. Desta forma, a utilização de sementes com alto vigor proporciona um

desenvolvimento rápido e uniforme das plântulas, com elevado desempenho e um adequado estande de plantas por hectare, o que assegura um potencial produtivo satisfatório, que pode ser aumentado em até 20% com a escolha adequada das sementes (FRANÇA-NETO et al., 2016; HAO et al., 2020).

Outro fator determinante na produção desta cultura se refere à ocorrência de estresses bióticos e abióticos durante o ciclo da cultura, que, quando aliada à utilização de semente de qualidade inferior, pode ocasionar baixa porcentagem de germinação e menor velocidade de emergência das plantas, afetando negativamente a produtividade final (MARCOS FILHO, 2015; FREITAS et al., 2022).

Em condições de estresse por altas temperaturas e falta de água, as sementes, no geral, perdem qualidade, mas as sementes de baixo vigor tendem a ser mais afetadas por essas condições, reduzindo rapidamente velocidade e a porcentagem de germinação. Nesse cenário, um dos métodos que vêm sendo utilizados para minimizar essa problemática é o condicionamento de sementes com moléculas sinalizadoras, que, quando aplicadas de forma correta, podem melhorar o desempenho de germinação mesmo sobre condições de estresse (GOUVEIA et al., 2017).

Por conseguinte, são de grande interesse dos pesquisadores alternativas que visem a melhorias no vigor e na germinação das sementes de soja. Nesse sentido, entre as técnicas com tratamentos pré-semeadura, o condicionamento fisiológico com moléculas sinalizadoras se destaca em razão dos benefícios proporcionados no desempenho das sementes (FERNANDES et al., 2021). O processo de condicionamento fisiológico proporciona um avanço no metabolismo relacionado à germinação, estimula a germinação, aumenta a tolerância a estresses ambientais e ainda reduz o período de semeadura e emergência das plântulas, garantindo rapidez e uniformidade na germinação sob condições desfavoráveis (BARROS, 2017; TATARI et al., 2020).

A técnica do condicionamento fisiológico estimula as fases iniciais dos processos fisiológicos de germinação (fases I e II), inibindo a transição entre a segunda e terceira fase, além de impedir que a semente atinja a fase III, onde se inicia a protrusão radicular (BEWLEY et al., 2013; FERNANDES et al., 2021). Nesse processo, a velocidade de embebição de água pelas sementes em soluções iônicas e não iônicas é controlada, sendo ajustada a potenciais hídricos que só permitem as fases fisiológicas iniciais (BRADFORD, 1986; HAIDER e REHMAN, 2021).

Existem diversos métodos para o condicionamento fisiológico, destacando-se a imersão direta em água, o hidrocondicionamento e o osmocondicionamento. A técnica

do osmocondicionamento refere-se à hidratação das sementes pela sua imersão em soluções com composto osmótico ativo por um período de tempo determinado para cada cultura, tendo como exemplo o polietileno glicol (PEG). A técnica de osmocondicionamento visa a proporcionar maior uniformidade de germinação, aumentando o índice de emergência e estimulando o desenvolvimento das plântulas, produzindo plantas mais vigorosas, mesmos em condições adversas, como solos com baixo teor de água. Assim, o condicionamento fisiológico das sementes pode ser utilizado em sementes que posteriormente serão semeadas em condições de baixa ou alta temperatura, permitindo uma germinação mais rápida, resultando em estandes mais uniformes (CARVALHO et al., 2012; MASETTO et al., 2018).

Apesar dos seus benefícios, o condicionamento fisiológico das sementes pode afetar negativamente os parâmetros de qualidade, incluindo a capacidade de armazenamento (SANTINI et al., 2017). Os efeitos dos diferentes métodos de condicionamento de sementes nos atributos de qualidade devem ser amplamente estudados antes da sua aplicação (MALEK et al., 2022).

E para a realização das técnicas, as moléculas sinalizadoras mais utilizadas para a cultura da soja na indução de tolerância a estresses abióticos são água, peróxido de hidrogênio e nitroprussiato de sódio (fonte de óxido nítrico) (OLIVEIRA et al., 2020). É importante salientar que existem especificidades para cada cultura durante o manuseio que exigem atenção em relação ao tempo de embebição, à concentração da solução e ao tipo de soluto, ao tempo e ao método de secagem e as condições de armazenamento (ADNAN et al., 2020).

1.4.1 Óxido Nítrico (ON)

O nitroprussiato de sódio (SNP), $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, é um composto químico que libera óxido nítrico durante todo o processo de condicionamento fisiológico. O óxido nítrico (NO) é um gás solúvel que tem exercido papel relevante em plantas que reagem com as espécies reativas de oxigênio (ROS) sob condições desfavoráveis e atua como molécula sinalizadora, participando de diversos processos fisiológicos (KARTHIK et al., 2019).

O óxido nítrico na forma de nitroprussiato de sódio se transforma em uma molécula de sinalização bioativa de plantas endógenas e desempenha variadas funções desde a germinação, desenvolvimento das sementes até o crescimento e a produção final

das plantas (KARTHIK, 2019). A aplicação do óxido nítrico pode estimular a germinação das sementes mesmo em condições desfavoráveis, pois favorece a diferenciação do xilema e a quebra da dormência de algumas sementes, na fotossíntese, permite regular a abertura e o fechamento dos estômatos, além de incitar o crescimento vegetativo da parte aérea e de raízes adventícias em plantas sob condições de estresse (ATAÍDE et al., 2015).

Em 1979, foi constatado por Klepper aumento gradativo da produção de óxido nítrico (ON) em plantas de soja, em razão da dose aplicada de herbicidas. Desde então, vem sendo descoberto que a molécula ON é multifuncional, atuando em diversas áreas e processos celulares das plantas, como, por exemplo, na divisão celular (OTVOS et al., 2005).

Embora existam diversos trabalhos sobre o efeito positivo do óxido nítrico em sementes submetidas ao pré-tratamento com moléculas sinalizadoras, ainda se fazem necessárias pesquisas aprofundadas que explorem o efeito desta molécula sobre os mecanismos fisiológicos em sementes e seu comportamento durante o armazenamento.

1.4.2 Peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um composto inorgânico encontrado geralmente como subproduto na planta, sendo gerado no metabolismo das plantas via enzimática direta e indireta por oxidases como NADPH oxidase, que produz o ânion superóxido, dismutado a H_2O_2 pela superóxido dismutase (GILL E TUTEJA, 2010). Outros processos fisiológicos que também contribuem para a formação do H_2O_2 celular, são a transferência de elétrons em cloroplastos e mitocôndrias e a oxidação do glicolato nos peroxissomas (Niu e Liao, 2016; Khan et al., 2018).

O H_2O_2 é fundamental para inúmeros organismos por atuar no desenvolvimento, metabolismo e homeostase (BIENERT et al., 2006). Além disso, essa molécula tem uma longa meia vida, o que a possibilita ser uma molécula sinalizadora capaz de percorrer grandes distâncias até o seu alvo (VRANOVÁ et al., 2002). Tal molécula pode ter seu surgimento atrelado ao metabolismo anaeróbico. Apesar de sua alta concentração ser potencialmente tóxica para a planta, mecanismos de eliminação podem ter surgido no início do processo evolutivo (BIENERT et al., 2006).

Este composto desempenha papel vital na tolerância ao estresse, atuando como mensageiro secundário, sinalizando os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio em macromoléculas e nas membranas celulares (SHU-HSIEN; CHIH-WEN;

LIN, 2005), quando seu nível se encontra em baixas concentrações (YOU E CHAN, 2015; FAROOQ et al., 2017). Sob condições desfavoráveis provocadas por estresses abióticos, vários estudos apontam o papel central do H_2O_2 nas vias de sinalização melhorando as respostas das plantas às condições de estresse hídrico (ISHIBASHI et al., 2011), à salinidade (BAGHERI et al., 2019), a metais pesados (HASANUZZAMAN et al., 2017) e a encharcamento (ANDRADE et al., 2018).

Embora já tenha sido relatado na literatura em diversos estudos o papel do peróxido de hidrogênio na resposta fisiológica, sob condições de estresse, a eficácia do H_2O_2 no desencadeamento da tolerância ao estresse em sementes ainda é inconclusiva. (TENA et al., 2001; QUAN et al., 2008; GUPTA et al., 2016; JAGODZIK et al., 2018; ZHANG et al., 2018).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Brasil. **Onu diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030**. Nova York (Eua): Agência Brasil, 2017.

AKPINAR, B.A.; STUART, L.J.; J, BUDAK, H. Genomics approaches for crop improvement against abiotic stress. **The Scientific World Journal**, p. 1-9, 2013. Doi:org/10.1155/2013/361921.

AMARO, H.T.R.; DAVID, A.M.S.S.; ASSIS, M.O.; FIGUEIREDO, J.C.; CANGUSSÚ, L.V.S; SILVA, M.B. O. Qualidade fisiológica de sementes de crambe tratadas com zinco e molibdênio. **In: Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 2, p. 133-139, 2019.

ANDRADE, C.A.; SOUZA, K.R.D.; OLIVEIRA, S.M.; SILVA, D.M.; ALVES, J.D. Hydrogen peroxide promotes the tolerance of soybeans to waterlogging. **Scientia Horticulturae**, v. 232, p. 40-45, 2018.

ATAÍDE, G.M.; BORGES, E.E.L.; FLORES, A.V.; CASTRO, R.V.O. Nitric oxide on the germination of *Dalbergia nigra* seeds with low vigor. **Revista de Ciências Agrárias de Portugal**, Recife, v. 38, n. 3, p. 438-444, 30 abr. 2015.

BARROS, T. T. V. B. **Osmocondicionamento e tolerância ao estresse térmico na germinação de sementes de girassol**. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

BELLALLOUI, N.; HU, Y.; MENGISTU, A.; KASSEM, M.A.; ABEL, C.A. Effects of foliar boron application on seed composition, cell wall boron, and seed $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotopes in water-stressed soybean plants. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 270, 2013.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. USA: Springer, 2013.

BHANUPRAKASH, K.; YOGESHA, H. S. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **In Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops**, New Delhi, p. 103-117, 2016.

BIENERT, G.P.; SCHJOERRING, J.K.; JAHN, T.P. Membrane transport of hydrogen peroxide. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1758, p. 994-1003, 2006.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, v.218, p.443-448, outubro, 1982. Doi: 10.1126/science.218.4571.443

BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 5, p. 1105-1112, 1986.

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

CÂMARA, G. M. S. et al. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. spe, p.149-154, jun. 1997.

CARVALHO, C.A.M.; GUIMARÃES, R.M.; SILVA, T.T.A. **Physiological Conditioning in Solid Matrix of Coffee Seeds (*Coffea arabica* L.) with and without Parchment**. Revista Brasileira de Sementes, v. 34, p. 94-98. 2012 <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000100012> .

CARVALHO, L.C.; FERREIRA, F.M.; BUENO, N.M. Importância econômica e generalidades para o controle da lagarta falsa-medideira na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1021-1034, 2012.

CHIPENETE, C.F.; CHIPENETE, G.H.N.; LIMA, R.R. Regression models fitted to spatial area data which used improved maize seeds in Mozambique. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 20017-20034, 2022.

CORRÊA, M.F.; GADOTTI, G.I.; PINHEIRO, R.M; NADAL, A.P.; SCHUCH, L.O.B;VERGARA,R.O Análise de variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes de soja e trigo. **Revista Cereus**, v. 13, n. 4, 2021.

COSTA, N.P.; PEREIRA, L.A.G.; NETO, G.B.F.; HENNING, A.A.; KRZVZANOWSKI, F.C. Zoneamento ecológico do estado do Paraná para a produção de sementes de cultivares precoces de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 16, n. 1, p. 12-19, 1994.

DECARLI, L.; LUDWIG, M.P.; FREIBERG, J.A.; GIROTTO, E. Tratamento industrial em sementes de soja: qualidade fisiológica e desempenho da cultura. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Piracicaba, v. 14, n. 3, 2019.

EMBRAPA. Comunicação, Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Brasília, DF, 2021. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63037465/livro-conta-a-historia-da-soja-no-brasil>. Acesso em 13 de junho de 2022.

FARIAS, J.R.B.; J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Circular Técnica: Ecofisiologia da soja. **Embrapa**, Londrina, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470308/1/circtec48.pdf>. Acesso em 25/06/2021.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S.M.A Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable, Development* **29**, p. 1185-212, 2009. Doi.org/10.1051/agro:2008021.

FERNANDES, A.C.; FARIA, J.C.T.; FARIA, J.M.R; PIRES, R.M.O. Use of different conditioning agents and quality evaluation of two lots of annatto (*Bixa orellana*) seeds. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 808-829, 2021.

FIGUEIREDO, S.L.; PIVETTA, L.G.; FANO, A.; MACHADO, F.R.; GUIMARÃES, V.F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. *Revista Ceres*, v.58, p.342-349, 2011.

FONTANA, D.C. Monitoramento e previsão da safra de soja 1999/2000 no Brasil. Porto Alegre: CEPSSRM/UFRGS, p.121, 2001.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYŻANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G. P.; LORINE, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa, 2016. 84 p.

FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNPSo, 1984. 39p. (Circular Técnica 9).

FREIRIA, G.H.; LIMA, W.F.; LEITE, R.S.; MANDARINO, J. M. G.; SILVA, J.B.; PRETE, C.E.C. Productivity and chemical composition of food-type soybeans sown on different dates. *Acta Scientiarum*, v. 38, n. 3, 371-377, 2016.

FREITAS, M.C.M. A Cultura da Soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer**, Goiânia-GO, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

FREITAS, V.F., CEREZINI, P., HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M.A. Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. *Applied Soil Ecology*. 172, 104352. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104352>.

GABBI, M.T.T.; COSTA, N.L.; GELATTI, E.; OLIVEIRA, G.N. Tendências das exportações do complexo soja sul americano (1990 a 2019). **Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat**, Taquara/RS, v. 19, n. 2, 2022.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 48, p. 909-930, Dec. 2010.

GOUVEIA, G.C.C.; BINOTTI, F.F. DA S.; COSTA, E. Priming effect on the physiological potential of maize seeds under abiotic stress¹. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p.328–335, 2017.

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of Genomics**, New York, v. 2014, p. 1-18, Apr. 2014.

HAIDER, I., REHMAN, H. The impact of different seed priming agents and priming durations on stand establishment and biochemical attributes of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. p. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.0401>.

HAO, Q., YANG, Y., GUO, C., LIU, X., CHE, H., YANG, Z., ZHANG, C., CHEN, L., YUAN, S., CHEN, S., CAO, D., GUO, W., QIU, D., ZHANG, X., SHAN, Z., ZHOU, X. Evaluation of seed vigor in soybean germplasms from different eco-regions. **Oil Crop Science**, 5, 22-25. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.03.006> 2020.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; GILL, S.S.; ALHARBY, H.F.; RAZAFINDRABE, B.H.; FUJITA, M. Hydrogen peroxide pretreatment mitigates cadmium-induced oxidative stress in *Brassica napus* L.: an intrinsic study on antioxidant defense and glyoxalase systems. **Frontiers in plant Science**, v.8, p.115, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00115.

HENNING, A. A.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Aquisição de sementes**. 2021. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_64_271020069132.html. Acesso em 27 de outubro de 2021.

ISHIBASHI, Y.; YAMAGUCHI, H.; YUASA, T.; IWAYA-INOUE, M.; ARIMA, S.; ZHENG, S.H. Hydrogen peroxide spraying alleviates drought stress in soybean plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 1562-1567, 2011. doi: 10.1016/j.jplph.2011.02.003.

KAISER, I.S.; MACHADO, L.C.; LOPES, J.C.; MENGARDA, L.H.G. 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.

KARTHIK, S. Nitroprussiato de sódio aumenta a regeneração e alivia o estresse salino em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Elsevier: Biotatálise e Biotecnologia Agrícola**, Índia, v. 19, p. 1-10, maio 2019.

KHAN, T.A.; YUSUF, M.; FARIDUDDIN, Q. Hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism: Signalling and its effect under abiotic stress. **Photosynthetica**, v. 56, p. 1237-1248, 2018. doi:org/10.1007/s11099-018-0830-8

KLEPPER, L. Nitric oxide and nitrogen dioxide emissions from herbicide treated soybean plants. **Atmospheric Environment**, v.13, p.537-542, 1979.

MALEK, M.; GHADERI-FAR, F.; TORABI, B.; SADEGHIPOUR, H.R. Dynamics of seed dormancy and germination at high temperature stress is affected by priming and phytohormones in rapeseed (*Brassica napus* L.). **Journal of Plant Physiology**, v.269, 153614, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153614>.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 660 p.

MASETTO, T.E.; NEVES, E.M.S.; SCALON, S.P.Q. Physiological Conditioning of *Alibertia edulis* (Rich) Seeds. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, p.1004-1013, 2018. <http://Doi:10.4236/ajps.2018.95077>.

NIU, L.; LIAO, W. Hydrogen peroxide signaling in plant development and abiotic responses: crosstalk with nitric oxide and calcium. **Frontiers in Plant Science** v. 7, p. 230, 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.00230.

OLIVEIRA, A.S. **Condicionamento fisiológico de sementes de tabaco**. 2016. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

OLIVEIRA, C.O.O.; LAZARINE, E.; TARSITANO, M.A.A.; PINTO, C.C.; SÁ, M.A. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.82-88, 2015.

OLIVEIRA, L.E.M. **Espécies reativas de oxigênio**. Disponível em: http://www.ledson.ufla.br/respiracao_plantas/cadeia-transportadora-de-eletrons/especies-reativas-de-oxigenio/. Acesso em: 06 jan. 2022.

OLIVEIRA, R. **Pré-tratamento com peróxido de hidrogênio em sementes de soja induz tolerância ao estresse por déficit hídrico**. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2019. Cap. 1.

OLIVEIRA, T.F.; SANTOS, H.O.; VAZ-TOSTES, D.P.; CAVASIN, P.Y.; ROCHA, D.K.; TIRELLI, G.V. Protective action of priming agents on *Urochloa brizantha* seeds under water restriction and salinity conditions. **Journal of Seed Science**, Lavras, v. 43, p. 1-11. nov. 2021.

OTVOS, K.; PASTERNAK, T.P.; MISKOLCZI, P.; DOMOKI, M.; DORJGOTOV, D.; SZUCS, A.; BOTTKA, S.; DUDITS, D.; FEHÉR, A. Nitric oxide is required for, and promotes auxin-mediated activation of, cell division and embryogenic cell formation but does not influence cell cycle progression in alfalfa cell cultures. **The Plant Journal**, v.43, p.849- 860, 2005.

PIRES, R.M.O.P; SOUZA, G.A.; CARDOSO, A.A.; DIAS, D.C.F.S. Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n.1, p. 022-029, 2016.

RIBEIRO, E.C.G.; REIS, R.; VILAR, C.C.; MOREIRA-VILAR, F. Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, 2019.

ROSA, V.R.; SILVA, A.A.; BRITO, D.S.; JÚNIOR, J.D.P.; SILVA, C.O.; DAL-BIANCO, M.; OLIVEIRA, J.A.; RIBEIRO, C. Drought stress during the reproductive stage of two soybean lines. **Plant Physiology** - Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 55, 2020.

SANTINI, B.A.; ROJAS-ARTECHIGA, M.; MORALES, E.G. Priming effect on seed germination: is it always positive for cacti species? **Journal of Arid Environments**, v.147, p.155–158, 2017.

SANTOS, K.P.O. **Condicionamento fisiológico de sementes de soja com 24-epibrassinolídeo**. 2019. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019. Cap. 1.

SANTOS, M.C.A.; AROUCHA, E.M.M.; SOUZA, M.S.; SILVA, R.F.; SOUZA, P.A. Condicionamento osmótico de sementes. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 1–6, apr/jun. 2008.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, M.C.N. - **Soja: Molibdênio e Cobalto**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 34 p. (Documentos, 322).

SHU, K.; QI, Y.; CHEN, F.; MENG, Y.; LUO, X.; SHUAI, H.; YANG, F. Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. **Frontiers in plant science**, v. 8, p.1372. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01372

SILVA, A. L.; PINHEIRO, D.T.; LIMA E BORGES, E.E.; SILVA, L.J.; DIAS, D.C.F.S. 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 Science**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 86-96, 2019.

SILVA, A. L.; DIAS, D.C.F.S.; LIMA E BORGES, E.E.; RIBEIRO, D.M.; SILVA, L.G. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on the germination of *Senna macranthera* seeds (DC. ex Collad.) HS Irwin & Baneby under salt stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 236-243, 2015.

TATARI, S.; GHADERI-FAR, F.; YAMCHI, A.; SIAHMARGUEE, A.; SHAYANFAR, A.; BASKIN, C.C. Application of the hydrotime model to assess seed priming effects on the germination of rapeseed (*Brassica napus* L.) in response to water stress. **Botany**, v. 98, n. 5, 283–291, 2020.

TEJO, D.P.; FERNANDES, C.H.S.; BURATTO, J.S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista científica eletrônica de XIX da FAEF**, Paraná, v.35, n. 1, 2019.

TEWARI, R.K.; HAHN, E.J.; PAEK, K.Y. Modulation of copper toxicity-induced oxidative damage by nitric oxide supply in the adventitious roots of *Panax ginseng*. **Plant Cell Reports**, v.27, p.171-181, 2008.

USDA. United States Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>. Acesso em 20/06/2022.

VRANOVÁ, E.; INZÉ, D.; BREUSEGEM, F. V. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1227-1236, 2002.

ZHANG, H.; SHEN, W.B.; XU, L.L. Effects of nitric oxide on the germination of wheat seeds and its reactive oxygen species metabolisms under osmotic stress. **Acta**

Botanica Sinica, v.45, p.901-905, 2003.

ZHANG, M.; AN, L.; FENG, H.; CHEN, T.; CHEN, K.; LIU, Y.; TANG, H.; CHANG, J.; WANG, X. The cascade mechanisms of nitric oxide as a second messenger of ultraviolet B in inhibiting mesocotyl elongations. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v.77, p.219- 25, 2003.

ZHANG, Y.; YU, S.H.I.; GONG, H.J.; ZHAO, H.L.; LI, H.L.; HU, Y.H.; WANG, Y.C. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, p.2151-2159, 2018. doi:org/10.1016/S20953119(18)62038-6.

ZHENG, M.; Ye, T.; Hussain, S.; QingWei, J.; ShaoBing, P.; JianLiang, H.; KeHui, Cui.; LiXiao, N. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 78, n. 2, p.167-178, 2016.

OBJETIVO GERAL

Estudar a eficiência do uso de moléculas sinalizadoras na indução de tolerância a estresses abióticos na cultura da soja pela utilização do condicionamento fisiológico em sementes das cultivares I e II.

CAPÍTULO I

MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES ABIÓTICOS EM SEMENTES DE SOJA.

RESUMO

A soja destaca-se como uma das mais importantes commodities brasileiras e novas tecnologias vêm sendo incorporadas aos sistemas de produção e aos programas de melhoramento genético, no intuito de melhorar a qualidade das sementes. Nesse sentido, o condicionamento fisiológico de sementes vem sendo utilizado como uma alternativa promissora visando aos benefícios na germinação e na emergência das plântulas, sobretudo sob condições menos favoráveis. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do condicionamento fisiológico em sementes de soja de duas cultivares, cultivar I (precoce) e cultivar II (tardia), utilizando duas substâncias condicionantes, o óxido nítrico e o peróxido de hidrogênio, tendo estas cultivares sido submetidas aos estresses por restrição hídrica e por alta temperatura. Para tal procedimento, foram feitas avaliação de teor de água, primeira contagem de germinação, germinação final, comprimento da raiz primária e raízes secundárias, tamanho do hipocótilo e crescimento total. O delineamento foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial duplo $3 \times 2 + 1$, sendo 3 tratamentos (óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e condição normal), 2 estresses (hídrico e de temperatura), além do tratamento controle para cada cultivar. O condicionamento fisiológico de sementes utilizando óxido nítrico e o peróxido de hidrogênio não reduziram o potencial germinativo das sementes de soja. O

condicionamento de sementes de soja não contribuiu para o desenvolvimento das raízes primárias e secundárias das plântulas, tanto para a cultivar I quanto para a cultivar II.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*, Qualidade, Pré-Tratamento, Osmocondicionamento, Priming, Germinação.

CHAPTER 1

SIGNAL MOLECULES FOR INDUCTION OF TOLERANCE TO ABIOTIC STRESS IN SOYBEAN SEEDS.

ABSTRACT

The soybean crop stands out as one of the most important Brazilian commodities, and new technologies have been incorporated into production systems and genetic improvement programs to improve its seed quality. In this sense, the seed physiological conditioning has been used as a promising alternative, aiming to benefit the seedling germination and emergence, especially under less favorable conditions. Therefore, this paper aimed to evaluate the effect of physiological conditioning on soybean seeds of two cultivars, cultivar I (early) and cultivar II (late), with two conditioning substances, nitric oxide and hydrogen peroxide, then, submitted to water restriction and high temperature stress; and the evaluation of water content, first germination count, final germination, length of primary and secondary roots, hypocotyl size, and total growth were carried out. The design was completely randomized, with four replicates, in a 3 x 2 +1 double factorial scheme, three treatments (nitric oxide, hydrogen peroxide, and normal condition), two stresses (water and temperature), in addition to the control for

each cultivar. The seed physiological conditioning using nitric oxide and hydrogen peroxide does not reduce the germination potential of soybean seeds. Soybean seed conditioning does not contribute to the development of primary and secondary seedling roots for both cultivar I and cultivar II.

KEYWORDS: *Glycine max.* Germination. Osmoconditioning. Pre-treatment. Priming. Quality.

3. INTRODUÇÃO

A cultura da soja destaca-se como uma das mais importantes commodities brasileiras. Além disso, o Brasil se apresenta como o maior exportador e produtor mundial deste grão, sendo uma das culturas mais importantes da produção agrícola do país, de grande influência no agronegócio em âmbito internacional (CONAB, 2021).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a cultura da soja foi uma das culturas que mais contribuíram para o recorde da safra em 2020, com crescimento de 6,5% em comparação com o ano anterior. Estima-se que na safra 2021/2022, a produção de grãos no Brasil ficará em torno de 289,6 milhões de toneladas, sendo a expectativa para a produção de soja de 141,2 milhões de toneladas, com previsão de novo recorde na série histórica.

Um dos principais fatores que cerceiam a produção dessa cultura se refere ao uso de sementes de alta qualidade, fundamental para o sucesso do cultivo no campo. Desta forma, a utilização de sementes com alto vigor proporciona desenvolvimento de plântulas de forma rápida e uniforme, com alto desempenho e um bom estande de plantas por hectare, o que assegura um potencial produtivo mais elevado (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Outro fator determinante se refere à ocorrência de estresses bióticos, causados por insetos e microrganismos, como também aos abióticos, causados, por exemplo, por temperaturas elevadas ou déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura, que, quando aliado aos emprego de semente de qualidade inferior, podem ocasionar baixa porcentagem de germinação e menor velocidade de emergência das plantas, afetando negativamente sua produtividade final (ALVES et al., 2021).

Uma alternativa promitente visando aos benefícios em relação à germinação e à emergência de plântulas sob condições menos favoráveis, como exemplo seca e temperaturas extremas, refere-se à adoção do condicionamento fisiológico de sementes (SANTOS, 2019). A técnica consiste em reduzir o tempo de germinação das sementes por meio de uma hidratação controlada, desencadeando o início de processos fisiológicos essenciais à germinação (fases I e II), sem atingir a fase III (protrusão radicular) (BATISTA et al., 2018; PEREIRA et al., 2018 e RIBEIRO et al., 2019)

A avaliação do potencial fisiológico vem evoluindo incessantemente por meio de pesquisas e avanços tecnológicos e pelo uso de análise de imagens de sementes e plântulas, cada vez mais frequente, um método que tem se mostrado eficiente para as avaliações da germinação e vigor das sementes e de plântulas. O uso de moléculas que conferem efeito protetivo às sementes no condicionamento fisiológico torna-se uma opção para auxiliar na diminuição dos impactos causados pela ocorrência de estresses abióticos, melhorando a qualidade fisiológica das sementes (OLIVEIRA et al., 2020). O óxido nítrico e o peróxido de hidrogênio são exemplos de moléculas que podem ser utilizadas com esse intuito.

A aplicação do óxido nítrico pode estimular a germinação das sementes mesmo em condições desfavoráveis, pois favorece a diferenciação do xilema e a quebra da dormência de algumas sementes, além de incitar o crescimento vegetativo da parte aérea e de raízes adventícias em plantas sob condições de estresse (ATAÍDE et al., 2015). O H_2O_2 sob condições desfavoráveis provocadas por estresses abióticos melhora as respostas das plantas às condições de estresse hídrico (ISHIBASHI et al., 2011), salinidade (BAGHERI et al., 2019) e encharcamento (ANDRADE et al., 2018).

Desta forma, há necessidade do desenvolvimento de pesquisas com a finalidade de verificar a eficiência do condicionamento fisiológico em sementes de soja, como também a resposta das sementes pós-condicionamento às condições de estresses abióticos. Sendo assim, no presente trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência do uso de moléculas sinalizadoras na indução de tolerância a estresses abióticos pelo emprego de

condicionamento fisiológico em sementes de duas cultivares de soja, cultivar I (precoce) e cultivar II (tardia). A cultivar I pode ter problemas com o acúmulo de sais provenientes da adubação anterior e também em solos com altas temperaturas em razão da sua precocidade e a cultivar II, por ser tardia, pode sofrer com a baixa disponibilidade de água.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

3.1.1 Aquisição da matéria-prima e local de execução do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras – MG. Foram utilizadas sementes de duas cultivares, cultivar I (precoce) e cultivar II (tardia), fornecidas pela empresa Valiosa Sementes - Nazareno, Minas Gerais, produzidas na safra 2020/2021.

3.1.2 Condicionamento Fisiológico

Para o condicionamento fisiológico, foram colocados, em cada frasco, 100 gramas de sementes totalmente imersas em 200 mL de água, juntamente com a solução condicionante diluída. As sementes de soja foram submetidas ao condicionamento fisiológico, feito em câmara tipo BOD regulada a 25°C (PEREIRA et al., 2018), sem luz e adaptada com um compressor de ar, responsável por manter as soluções aeradas por um período de tempo de 3 horas (OLIVEIRA, 2019). Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água corrente e submetidas ao processo de secagem em condição ambiente a 25°C por 36h e colocadas em bandejas forradas com papel *germitest* de forma a ajudar no processo da secagem.

As substâncias utilizadas como soluções condicionantes foram solução de peróxido de hidrogênio (100 μM) e solução doadora de ON de nitroprussiato de sódio 0,10 mmol L^{-1} (óxido nítrico) (ATAÍDE et al., 2015; FARAJI; SEPEHRI; SALCEDO-REYES, 2018; OLIVEIRA, 2019). As sementes utilizadas como controle (testemunha) não foram condicionadas.

Toda a metodologia foi conduzida de acordo com testes prévios feitos no laboratório.

3.1.3 Avaliações

3.1.3.1 Teor de água

O teor de água das sementes foi determinado em três períodos: antes do condicionamento, após o condicionamento (antes da secagem) e após a secagem das sementes, sendo retiradas quatro repetições de cada tratamento e submetidas à estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (BRASIL, 2009).

3.1.3.2 Teste de Germinação

Após o período de secagem, as sementes foram submetidas a duas condições de estresse, estresse por temperatura elevada e restrição hídrica e diferentes condições de germinação.

O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, semeadas sobre duas folhas de papel *germitest* e sobrepostas com mais uma folha. Essas folhas foram umedecidas com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, para todas as condições de germinação, com exceção das sementes sob estresse hídrico, cujas folhas foram umedecidas com polietileno glicol 6000 – PEG, -0,6Mpa para indução da restrição hídrica.

Os rolos contendo sementes sob condição de estresse de temperatura elevada foram colocados em câmara tipo BOD com temperatura regulada a 38°C (HODGES et al, 1993). Os demais rolos foram posicionados verticalmente no germinador com a temperatura de 25°C , com luz constante e água destilada, inclusive os rolos sob condição de restrição hídrica. Os rolos foram acondicionados em embalagens plásticas para evitar perda de água.

A porcentagem de plântulas normais e anormais foi avaliada no quinto (primeira contagem) e oitavo dia (germinação final) após a montagem do teste, segundo recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

3.1.3.3 Análise de Imagens

Para a análise de imagens de plântulas, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. A semeadura foi feita sob folhas de papel *germitest*, umedecidas com volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso da massa seca do papel. Os rolos contendo sementes sob condição de estresse de temperatura elevada foram colocados em câmara tipo BOD com temperatura regulada a 38 °C. Os demais rolos foram posicionados verticalmente no germinador regulado a temperatura de 25 °C. Os rolos foram acondicionados em embalagens plásticas para evitar perda de água. As imagens das plântulas foram obtidas aos 5 dias após a montagem do teste, equivalente ao período de primeira contagem de germinação (BRASIL, 2009).

Para a captura das imagens, foi utilizado o sistema GroundEye®, versão S800, composto por um módulo de captação que tem uma bandeja de acrílico, uma câmera de alta resolução e um software integrado para avaliação. As plântulas, após 5 dias da montagem do experimento, foram retiradas do papel *germitest* e inseridas na bandeja do módulo de captação para obtenção das imagens. Após a calibração, foi feita a análise das imagens e extraídos os valores de comprimento da raiz primária, comprimento das raízes secundárias, tamanho do hipocótilo e comprimento total das plântulas.

3.1.4 Procedimento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, com esquema fatorial duplo 3x2+1, sendo 3 tratamentos (óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e condição normal), 2 estresses (hídrico e de temperatura), além do tratamento controle para cada cultivar.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, grupadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software R, versão 4.1.0. Para a comparação do controle com os demais tratamentos resultantes do fatorial, quando significativo, foi feito o teste de Dunnett.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2.1 Teor de água, primeira contagem de germinação, germinação total e plântulas anormais das cultivares I e II

O uso de moléculas sinalizadoras como indutoras de tolerância a estresses abióticos em sementes de soja resultou em interação entre os fatores para porcentagem da primeira contagem de germinação, germinação e número de plântulas anormais quando avaliada a cultivar de soja I, tendo relação também com o teor de água apresentada pelas sementes ao longo do experimento.

Para a cultivar II, os resultados de teor de água e germinação foram significativos (Tabelas 1 e 2) e, para a primeira contagem de germinação e plântulas anormais, não houve interação entre os tratamentos, com efeito isolado somente para o condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico (Tabela 4).

Após o condicionamento fisiológico utilizando as substâncias condicionantes peróxido de hidrogênio e óxido nítrico, houve aumento no teor de água, em média, 3,7 e 5,5 vezes maior em relação à testemunha (semente sem condicionamento), respectivamente, para a cultivar I. Para a cultivar II, o teor de água aumentou em média 4,3 vezes em relação à testemunha (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de água de sementes de soja (% b.u.) das cultivares I e II, antes e após a secagem, sem condicionamento fisiológico (Controle) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico

Substâncias Condicionantes	Após Condicionamento	Após Secagem
Cultivar I		
Peróxido de hidrogênio	48,5bA ± 0,16	31,1aB ± 0,22
Óxido nítrico	72,2aA ± 0,17	29,4aB ± 0,11
Testemunha		13,1* ± 0,15
CV (%) = 1,97%		
Cultivar II		
Peróxido de hidrogênio	50,5aA ± 0,25	29,3aB ± 0,28
Óxido nítrico	49,9aA ± 0,27	31,2aB ± 0,30
Testemunha		11,8* ± 0,04
CV (%) = 2,14%		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. *Não diferem da testemunha pelo Teste de Dunnett ao nível de 5 % de significância.

Todo o processo de germinação das sementes se inicia com o processo físico da embebição, durante esse processo as sementes se expandem em volume, rompendo seu tegumento. O osmocondicionamento permite que sementes menos vigorosas ganhem um intervalo de tempo maior para atingir as reações metabólicas próximas aos níveis de sementes com maior vigor ao alcançar o potencial osmótico de equilíbrio ajustado para cada condicionante (OLIVEIRA, 2010).

Mesmo após a secagem das sementes condicionadas, os teores de água das sementes condicionadas não se igualaram ao teor de água da testemunha, cujas sementes não passaram pelo procedimento do condicionamento fisiológico. O excesso no teor de água pode ocasionar atraso no processo de germinação, uma vez que reduz todo o processo resultante, fato esse que foi comprovado nos resultados seguintes. Segundo Marcos Filho (2015), quando o teor de água está elevado, ele pode comprometer o vigor das sementes durante os testes. O rápido processo de embebição de água pelas sementes pode causar dano ao sistema de membranas (SILVA et al., 2016). Esse fato pode ter causado o baixo desempenho em altas temperaturas, principalmente no teste com peróxido de hidrogênio (Tabela 2).

As sementes apresentam padrões de absorção de água distintos e períodos de absorção diferentes para chegarem à fase III do processo de hidratação dos tecidos. Desta forma, o período de condicionamento com base no teor de água final das sementes é essencial, pois o condicionamento fisiológico não pode exceder a fase II, a qual é responsável pela ativação do metabolismo das sementes (BEWLEY; BLACK, 1994). De acordo com Bradford (1986), ao atingir a fase III, fase referente à protrusão da raiz primária, a eficiência da técnica do condicionamento fisiológico pode ser comprometida, sendo intolerante à desidratação. Portanto, a escolha inadequada do período de condicionamento pode gerar falhas na técnica de condicionamento.

Em vista disso, o pré-tratamento com H₂O₂ em sementes apresenta uma faixa crítica de resposta, dependendo da espécie vegetativa e do método utilizado (WOJTYLA et al., 2016). Nesse sentido, Oliveira (2019) utilizou dois papéis germitests embebidos com a solução de peróxido de hidrogênio em condição de 25 °C por um período de 9 horas em sementes de soja, sendo observada uma embebição mais lenta, o que ocasionou menos danos ao sistema de membranas, convergindo com os

resultados também obtidos por Silva et al. (2016).

Tabela 2. Germinação de sementes de soja das cultivares I e II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada

Germinação			
Cultivar I			
Substâncias Condicionantes	Restrição Hídrica	Temperatura Elevada	Sem Estresse
Peróxido de hidrogênio	42bB ± 0,80	5,5bC ± 3,10	86aA* ± 1,80
Óxido nítrico	55aB ± 4,10	54aB ± 2,5	91,5aA* ± 2,90
Testemunha		98* ± 0,90	
CV = 8,53%			
Cultivar II			
Peróxido de hidrogênio	67aB ± 3,00	33,5aC ± 3,70	91,5aA* ± 1,70
Óxido nítrico	66,5aB ± 4,20	4bC ± 3,30	85,5aA* ± 1,50
Testemunha		96* ± 0,80	
CV (%) = 9,13%			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. *Não diferem da testemunha pelo Teste de Dunnett ao nível de 5 % de significância.

Para percentagem de germinação final, o óxido nítrico proporcionou maior taxa de germinação comparativamente ao peróxido de hidrogênio para ambos os estresses, para cultivar I. Já para a cultivar II, ao contrário da cultivar I, a substância condicionante que proporcionou maior taxa de germinação foi o peróxido de hidrogênio para ambos os estresses.

Para a cultivar I, o óxido nítrico não diminuiu o potencial germinativo da semente, uma vez que o tratamento foi igual à testemunha, porém os estresses afetaram a porcentagem de germinação. O peróxido de hidrogênio não foi eficiente para mitigar os danos causados no processo germinativo, principalmente em condições de altas temperaturas, tendo sido apresentados valores bem inferiores para germinação.

Em relação à cultivar II, ambos os condicionantes, peróxido de hidrogênio e óxido nítrico, mantiveram o potencial germinativo das sementes quando analisados os testes sem aplicação de estresse, pois obtiveram resultados iguais aos da testemunha, que não recebeu condicionante. Porém as duas substâncias quando submetidas aos estresses abióticos não foram suficientes para mitigar os danos causados no processo

germinativo, pois apresentaram valores inferiores aos exigidos para a comercialização de sementes, principalmente em condições de temperaturas elevadas (Tabela 2).

Os estresses abióticos afetaram negativamente a germinação das sementes, e a temperatura elevada ocasionou maiores reduções na germinação, comparativamente à restrição hídrica. A temperatura, quando elevada, afeta toda a porcentagem final por estar diretamente relacionada às reações durante todo o processo de germinação das sementes. Nos testes com restrição hídrica, os dois condicionantes resultaram em taxas de germinação semelhantes, porém, nos testes com temperatura elevada, o peróxido de hidrogênio se sobressaiu em relação ao óxido nítrico (Tabela 2).

Também em sementes de soja, Oliveira (2019) obteve resultados positivos para o pré-tratamento com peróxido de hidrogênio quando as sementes passaram por estresse de restrição hídrica induzida por polietilenoglicol (PEG). As menores concentrações de H_2O_2 (10 e 50 mM) foram as que obtiveram melhores resultados na germinação das sementes. Também foram obtidos resultados similares com aplicação de H_2O_2 no aumento de germinação em outras espécies (LIU et al., 2010; GONDIN et al., 2011; CHEN et al., 2016).

Em estudos sobre métodos para condicionamento osmótico com sementes de chicória, Sadegi e Robati (2015) verificaram que a técnica proporcionou aumento na capacidade de germinação das sementes submetidas à situação de estresse hídrico.

Com os resultados apresentados de germinação para as duas cultivares, embora não tenham sido eficazes na tolerância ao estresse hídrico e ao estresse por temperatura elevada, as substâncias condicionantes foram capazes de manter o vigor das sementes, devido ao fato de o óxido nítrico na forma de nitroprussiato de sódio se transfigurar em uma molécula de sinalização bioativa de plantas endógenas, estimulando a germinação das sementes, até mesmo das menos vigorosas (ATAÍDE et al., 2016; KARTHIK, 2019).

Tabela 3. Primeira contagem de germinação e plântulas anormais de sementes de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada

Primeira Contagem de Germinação			
Cultivar I			
Substâncias Condicionantes	Restrição Hídrica	Temperatura Elevada	Sem Estresse

Peróxido de hidrogênio	42bB ± 0,80	3,5bC ± 2,80	76,5aA ± 3,30
Óxido nítrico	55aB ± 4,30	53,5aB ± 2,90	79aA ± 1,70
Testemunha		97,5* ± 0,9	
CV (%) = 9,35%			

Plântulas Anormais			
Peróxido de hidrogênio	34,5aA ± 2,10	0aC*	13aB ± 2,30
Óxido nítrico	34,5aA ± 2,20	0aB*	4aB* ± 3,30
Testemunha		1* ± 0,20	
CV (%) = 31,31%			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. *Não diferem da testemunha pelo Teste de Dunnett ao nível de 5 % de significância.

Com relação à primeira contagem de germinação referente à cultivar I, quando as sementes foram expostas à germinação em condição de estresse por temperatura elevada e restrição hídrica, o óxido nítrico foi o condicionante que proporcionou valores superiores comparativamente ao peróxido de hidrogênio (Tabela 3).

As sementes condicionadas não expostas a condições de estresse proporcionaram aumento no vigor em comparação com as sementes sob condições de estresse, embora tenham apresentado valores inferiores aos da testemunha. A soja se adapta melhor a condições de temperaturas entre 20 °C e 30 °C e, partir de 40 °C, ela sofre efeitos adversos na taxa de crescimento vegetativo (FARIAS et al., 2007).

Para a percentagem de plântulas anormais, o tratamento com óxido nítrico mostrou novamente manter o potencial fisiológico das plântulas de soja, sendo igual à testemunha quando analisada a contagem sem estresse. Para os testes com a temperatura elevada, a contagem foi nula para os dois condicionantes, porém este fato é causado pela morte da maioria das sementes sob alta temperatura. Por outro lado, a restrição hídrica se mostrou influente negativamente no número de plantas anormais, favorecendo seu aumento (Tabela 3). De acordo com McDonald (2000) e Armstrong (1992), a técnica do condicionamento das sementes em água resulta em crescimento anormal das plântulas para essa espécie.

O peróxido de hidrogênio, quando usado em altas concentrações, se torna tóxico para as plantas e, mais uma vez, essa substância apresentou valores inferiores para a cultivar I, talvez pelo fato de essa cultivar ser mais sensível e a concentração utilizada pode ter sido tóxica para ela. Já que para a cultivar II, os resultados do peróxido de hidrogênio foram benéficos. Vale ressaltar que seu uso é benéfico somente quando utilizado em baixas concentrações (FAROOQ et al., 2017).

Nesse mesmo sentido, Pires (2014) também obteve resultados positivos para o tratamento de sementes de gergelim com óxido nítrico, uma vez que o condicionante se mostrou eficaz em amenizar os entraves para a germinação em todos os potenciais osmóticos testados para gerar restrição hídrica.

Não houve interação entre os tratamentos condicionantes e as vias de estresse para a cultivar II nas avaliações de primeira contagem de germinação e porcentagem de plântulas anormais, tendo sido estes parâmetros avaliados isoladamente (Tabela 4).

Tabela 4. Primeira contagem de germinação e plântulas anormais de sementes de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada.

Primeira Contagem de Germinação			
Substâncias Condicionantes	Restrição Hídrica	Temperatura Elevada	Sem Estresse
Peróxido de hidrogênio	42bB ± 3,10	3,5bC ± 4,90	76,5aA ± 2,80
Óxido nítrico	55aB ± 4,20	53,5aB ± 2,50	79aA ± 0,90
Testemunha		97,5a* ± 1,2	
CV = 9,35%			
Plântulas Anormais			
Substâncias Condicionantes	Restrição Hídrica	Temperatura Elevada	Sem Estresse
Peróxido de hidrogênio	34,5aA ± 1,40	0aC*	13aB ± 1,40
Óxido nítrico	34,5aA ± 2,80	0aB*	4aB* ± 2,10
Testemunha		1a* ± 0,9	
CV = 31,31%			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Ao analisar a porcentagem da primeira contagem de germinação, observou-se que a condição de estresse por temperatura elevada afetou diretamente a germinação das sementes, proporcionando menores valores na primeira contagem da germinação (8,5%), e o maior índice de plântulas anormais (21,8%) foi ocasionado pela restrição hídrica, sendo que as sementes que não foram submetidas ao estresse apresentaram germinação superior. Deve-se considerar que a maioria das sementes não resistiu à temperatura elevada e morreu.

As sementes condicionadas com peróxido de hidrogênio apresentaram melhores resultados na primeira contagem de germinação, comparativamente àquelas condicionadas com óxido nítrico, embora ambos os condicionamentos tenham apresentado valores inferiores à porcentagem mínima de 80% exigida para a comercialização do produto como semente (BRASIL, 2013). Ao contrário da cultivar I, cujas sementes apresentaram melhores resultados quando condicionadas com óxido nítrico.

O condicionamento fisiológico de sementes utilizando peróxido de hidrogênio como molécula sinalizadora vem se tornando uma relevante alternativa na tolerância de plantas sob condições desfavoráveis, melhorando suas respostas, principalmente quando em condições de estresse hídrico (ANDRADE et al., 2018), por atuar como mensageiro secundário, exibindo os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio nas membranas celulares (LIN, 2005). Vale ressaltar que seu uso é benéfico somente quando utilizado em baixas concentrações (FAROOQ et al., 2017).

3.2.2 Análise de imagens referentes às cultivares I e II

As Figuras 1 e 2 obtidas pelo sistema GroundEye® mostram que o condicionamento fisiológico não reduziu a germinação das sementes, mas as plântulas apresentaram alta sensibilidade às condições de estresses hídrico e por altas temperaturas para as duas cultivares.

As plântulas do tratamento controle (testemunha) (Figuras 1 e 2 - A e B) e as plântulas submetidas somente às soluções condicionantes (Figuras 1 e 2 - C e D) não diferiram entre si, pois todas se apresentaram como plântulas altamente vigorosas, com alto desenvolvimento radicular, comprovando que o condicionamento fisiológico não reduziu a germinação das sementes.

Porém, comparando as plântulas do tratamento controle (testemunha) (A e B) e condição normal [plântulas que foram submetidas ao condicionamento, porém não foram submetidas ao estresse (Figuras 1 e 2 - C e D)] com as demais plântulas que foram submetidas às condições de estresse hídrico (Figuras 1 e 2 - E e F) e temperatura elevada (Figuras 1 e 2 - G e H), é notório que seu crescimento radicular foi prejudicado, sendo percebido um crescimento lento e tardio, tanto para a cultivar I quanto para a cultivar II. Além disso, destaca-se a quantidade de sementes mortas

obtidas das amostras submetidas ao estresse por temperatura elevada para as duas substâncias condicionantes.

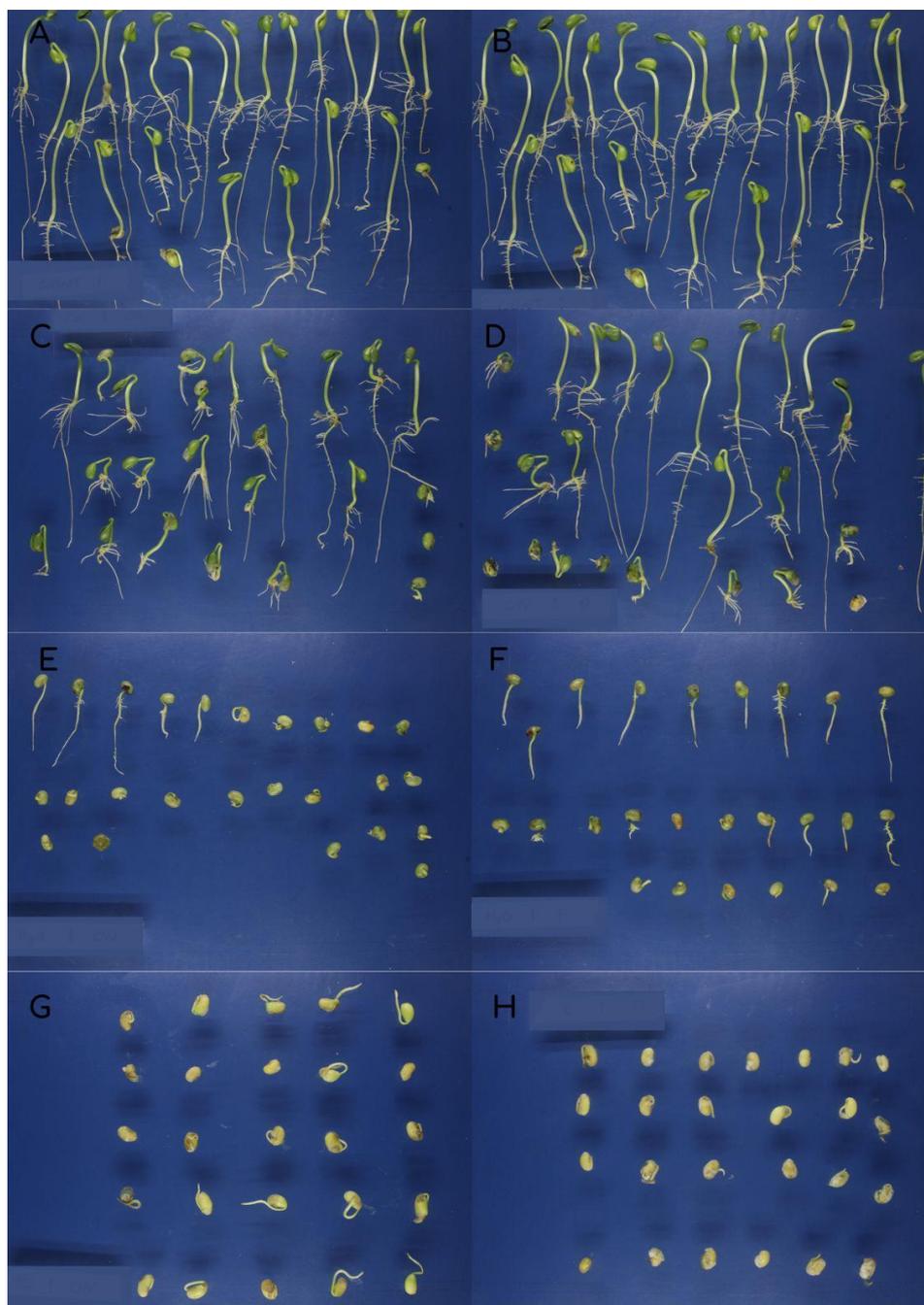


Figura 1. Plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada. A- Testemunha, B- Testemunha, C- Plântulas em condição normal condicionadas com óxido nítrico, D- Plântulas em condição normal condicionadas com peróxido de hidrogênio, E- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse

hídrico, F- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse hídrico, G- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse de temperatura, H- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse de temperatura.

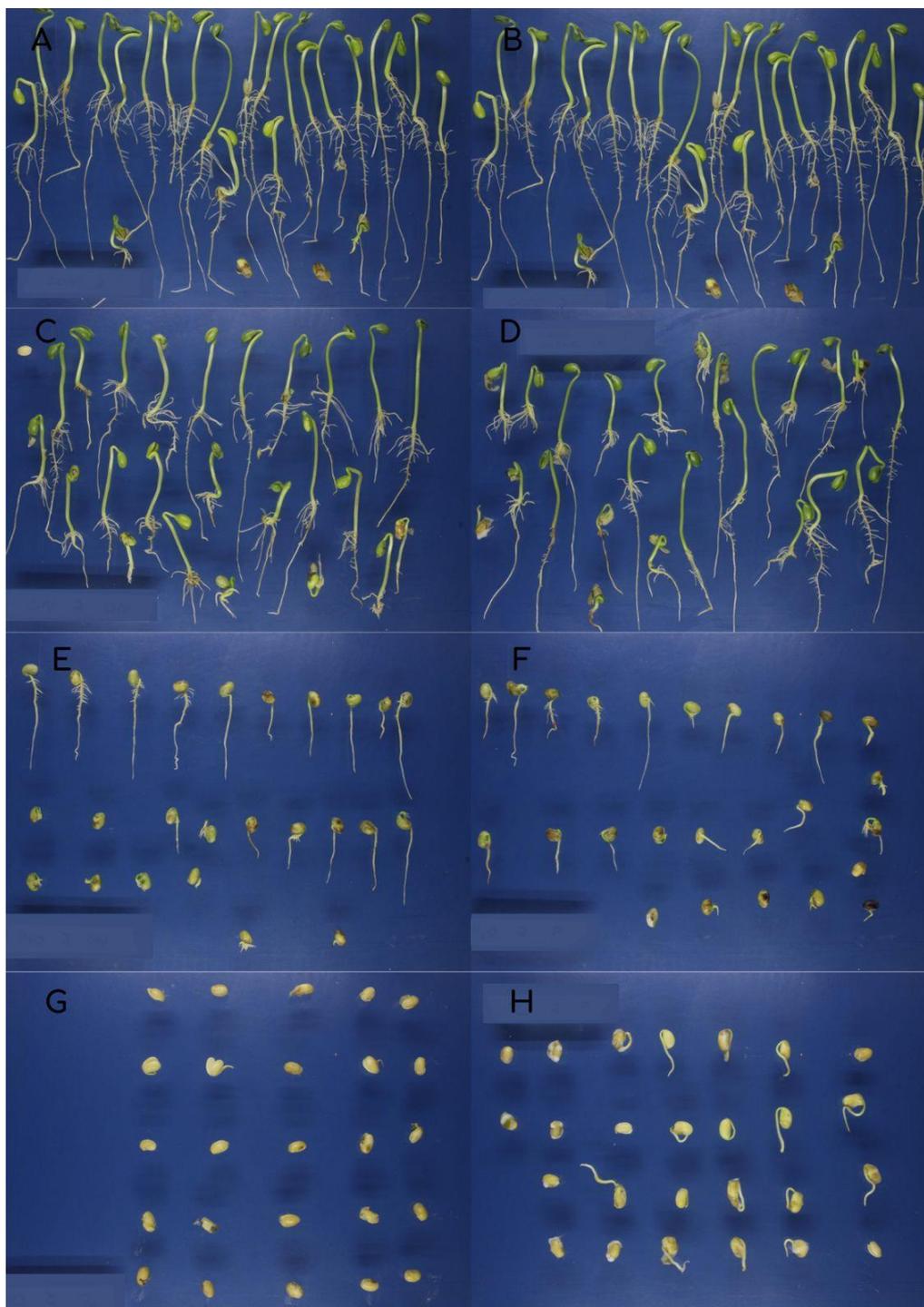


Figura 2. Plântulas de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada. A- Testemunha, B- Testemunha, C- Plântulas em condição normal

condicionadas com óxido nítrico, D- Plântulas em condição normal condicionadas com peróxido de hidrogênio, E- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse hídrico, F- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse hídrico, G- Plântulas condicionadas com óxido nítrico e submetidas ao estresse de temperatura, H- Plântulas condicionadas com peróxido de hidrogênio e submetidas ao estresse hídrico.

O uso de moléculas sinalizadoras como indutoras de tolerância a estresses abióticos em sementes de soja resultou em interação entre os fatores para comprimento da raiz primária e tamanho do hipocótilo das plântulas (Tabela 5) para a cultivar I. Já para os fatores comprimento das raízes secundárias e comprimento total das plântulas, não houve interação entre os tratamentos (Tabelas 6 e 8).

Com relação aos resultados referentes à cultivar II, não houve interação entre os tratamentos, tendo havido efeito isolado somente para condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico para comprimento da raiz primária, comprimento das raízes secundárias, tamanho do hipocótilo das plântulas de soja e comprimento total das plântulas (Tabelas 7 e 8).

Tabela 5. Comprimento da raiz primária e tamanho do hipocótilo das plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e de temperatura elevada

Cultivar I			
Comprimento da Raiz Primária			
Substâncias Condicionantes	Restrição Hídrica	Temperatura Elevada	Sem Estresse
Peróxido de hidrogênio	0aB ± 0,62	0aB ± 0,20	9,32bA* ± 1,60
Óxido nítrico	0aB ± 0,19	0aB ± 0,39	11,49aA* ± 0,65
Testemunha		15,68* ± 1,80	
CV (%) = 16,38%			
Tamanho do Hipocótilo			
Peróxido de hidrogênio	1,02aB ± 0,13	1,13aB ± 0,13	6,65aA* ± 0,60
Óxido nítrico	0,57aB ± 0,03	1,50aB ± 0,38	4,69bA ± 0,49
Testemunha		7,92* ± 0,39	
CV (%) = 22,06%			

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância *Não diferem da testemunha pelo Teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

Com relação ao comprimento de raiz primária referente à cultivar I (Tabela 5), houve crescimento tardio das plântulas submetidas aos estresses abióticos, fato associado ao potencial hídrico e à exposição das sementes a altas temperaturas, por consequência, ocorrendo menor absorção de água pela semente, afetando todo o desenvolvimento das plântulas. Para as plântulas submetidas somente ao condicionamento fisiológico, o crescimento foi igual ao da testemunha.

De forma geral, o crescimento das plântulas foi sensível ao estresse hídrico e a temperaturas elevadas, dados que confirmam Langeroodi e Noora (2017), cujo trabalho desenvolvido com sementes de soja sob condicionamento fisiológico, submetidas ao polietilenoglicol (PEG) como indutor do estresse hídrico, apresentou redução para a percentagem de germinação e para o crescimento inicial das plântulas, como também para o vigor e o índice de vigor das plântulas de ambas as cultivares.

O peróxido de hidrogênio foi mais efetivo em condições normais (sementes condicionadas, porém não submetidas às condições de estresse) para tamanho de hipocótilo, principalmente pela semelhança com a testemunha. Os demais tratamentos não diferiram entre si.

Oliveira (2020), ao analisar plantas submetidas ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), observou que a substância condicionante prorrogou o período de diminuição do potencial hídrico, como também favoreceu o crescimento das raízes, mas não foi eficaz no crescimento da parte aérea.

Tabela 6. Comprimento das raízes secundárias das plântulas de soja da cultivar I sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada

Cultivar I	
Substâncias Condicionantes	CRS
Peróxido de hidrogênio	3,97b \pm 0,12
Óxido nítrico	6,64a \pm 0,02
Tratamentos	
Restrição Hídrica	0,37b \pm 0,03
Temperatura Elevada	0b
Sem Estresse	11,18a \pm 0,60
Testemunha	14,86 \pm 0,81
CV (%)	13,25

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Sob condições de estresse por temperaturas elevadas e estresse hídrico, o comprimento das raízes secundárias referentes à cultivar I apresentou efeito inferior em comparação com as plântulas submetidas ao condicionamento fisiológico e sem estresse, de forma que os estresses afetaram negativamente o crescimento radicular das plântulas (Tabela 6).

Comportamento similar foi observado por Zhou et al. (2021) em experimento desenvolvido com plântulas de soja condicionadas submetidas a estresse hídrico, tendo observado que o estresse hídrico de longo prazo reduziu o volume radicular da soja, fator importante que afeta a absorção de água e nutrientes minerais do solo, refletindo-se no tamanho do sistema radicular.

O peróxido de hidrogênio e o óxido nítrico afetaram de forma similar o crescimento das plântulas da cultivar I, tendo em vista uma diminuição de 3 e 2 vezes maior comparativamente à testemunha, respectivamente. Resultados divergentes foram obtidos por Oliveira (2019), que relatou evolução na germinação e no crescimento das plântulas de soja quando as sementes foram submetidas ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio nas concentrações de 10 e 50 mM e sob condições de estresses hídrico e salino.

As concentrações utilizadas no trabalho de Oliveira foram mais altas do que as utilizadas nesse trabalho, podendo ser observado que as concentrações apresentam influência direta no processo de germinação, considerando que as concentrações utilizadas no experimento podem ter sido baixas, sendo insuficientes para auxiliar no crescimento das plântulas de soja.

Tabela 7. Comprimento da raiz primária, comprimento das raízes secundárias e tamanho do hipocótilo das plântulas de soja da cultivar II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada

Cultivar II			
Substâncias Condicionantes	CRP	CRS	CH
Peróxido de hidrogênio	4,57a ± 0,08	3,81a ± 0,15	2,07a ± 0,04
Óxido nítrico	4,85a ± 0,08	6,29b ± 0,15	2,90a ± 0,04
Tratamentos			

	4,58ab ± 0,10	2,73b ± 0,12	1,57b ± 0,24
Restrição Hídrica Temperatura Elevada	3,19b ± 1,20	0b	0,72b ± 0,23
		12,43a ±	
Sem Estresse	6,36a ± 1,20	0,35	5,17a ± 0,58
Testemunha	12,81 ± 1,40	14,93 ± 0,23	7,07 ± 0,54
CV (%)	22,11	23,21	28,88

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Não houve interação entre os tratamentos condicionantes e as vias de estresse para a cultivar II na avaliação de comprimento da raiz primária, comprimento das raízes secundárias e tamanho do hipocótilo (Tabela 7).

O peróxido de hidrogênio e o óxido nítrico afetaram de forma similar o crescimento das plântulas, assim como o estresse hídrico e a temperatura elevada afetaram negativamente as características de comprimento da raiz primária, comprimento raízes secundárias e tamanho do hipocótilo das plântulas em relação à falta de estresse, havendo aumento no período de germinação das sementes, tornando o crescimento das plântulas lento e tardio, assim como para a cultivar I, fato que se associa à redução do potencial hídrico, assim como a temperaturas elevadas, por consequência, ocorrendo menor absorção de água pela semente, interferindo na capacidade germinativa e no desenvolvimento das plântulas.

Diferindo dos resultados encontrados por Adnan et al. (2020), que, analisando o PEG para simular o estresse hídrico em sementes de bromus, observaram que as sementes condicionadas e expostas ao estresse hídrico apresentaram melhoria no comprimento de raízes primárias e secundárias, quando comparadas com as sementes que não foram condicionadas.

De acordo com Nakagawa (1999), as sementes que apresentam maior vigor são aquelas capazes de originar e desenvolver plântulas normais, com emergência rápida e uniforme e maior comprimento. Desta forma, são mais aptas a transferir maior massa seca de seus tecidos de reserva para o eixo embrionário, durante o processo de germinação.

Tabela 8. Comprimento total das plântulas de soja das cultivares I II sem condicionamento fisiológico (Testemunha) e submetidas ao condicionamento fisiológico nas soluções de peróxido de hidrogênio e óxido nítrico e submetidas a condições de estresse hídrico e temperatura elevada

Cultivar I		Cultivar II	
Substâncias Condicionantes	CT	Substâncias Condicionantes	CT
Peróxido de hidrogênio	7,24a ± 0,15	Peróxido de hidrogênio	6,64a ± 0,11
Óxido nítrico	6,74a ± 0,21	Óxido nítrico	7,75a ± 0,11
Tratamentos		Tratamentos	
Restrição Hídrica	2,41b ± 0,15	Restrição Hídrica	6,15b ± 0,21
Temperatura Elevada	1,81b ± 0,22	Temperatura Elevada	3,91b ± 0,23
Sem Estresse	16,74a ± 0,50	Sem Estresse	11,53a ± 1,50
Testemunha	21,80 ± 1,70	Testemunha	19,88 ± 1,90
CV (%)	23,81	CV (%)	22,26

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Não houve interação entre os tratamentos condicionantes e as vias de estresse para as cultivares I e I na avaliação de comprimento total de plântulas (Tabela 8). Entre os tratamentos avaliados, as plântulas submetidas ao estresse hídrico e a altas temperaturas foram as mais prejudicadas, tendo seu crescimento afetado negativamente. De forma geral, o crescimento das duas cultivares apresentou sensibilidade ao estresse por altas temperaturas e restrição hídrica, sem que esses fatores abióticos tivessem efeito direto na velocidade de absorção de água, afetando a reativação das relações metabólicas, interferindo no início da formação das plântulas.

Embora as plântulas das sementes condicionadas não tenham apresentado valores iguais ou superiores à testemunha, seu desenvolvimento foi ainda melhor do que as demais, tanto para a cultivar I quanto para a cultivar II. Durante o processo de embebição, a quantidade de água a ser absorvida pela semente deve ser suficiente para iniciar esse processo e dar continuidade ao processo de germinação, caso contrário, todo o processo de desenvolvimento das sementes poderá ser afetado.

Com relação ao condicionamento fisiológico com peróxido de hidrogênio e óxido nítrico, não houve incremento no comprimento das plântulas de soja. De acordo com McDonald (2000) e Armstrong (1992), a técnica do condicionamento de sementes em água resulta em crescimento anormal das plântulas para essa espécie. Contrariamente, Oliveira (2020) observou em estudos conduzidos com sementes de soja que o comprimento das raízes das plântulas pré-tratadas com H₂O₂ apresentou resultado superior à testemunha.

3.3 CONCLUSÃO

O condicionamento utilizando as moléculas sinalizadoras de óxido nítrico e peróxido de hidrogênio não reduziu o potencial germinativo das sementes de soja.

O condicionamento de sementes de soja não contribuiu para o desenvolvimento das raízes primárias e secundárias das plântulas, tanto para a cultivar I quanto para a cultivar II.

3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADNAN, M.; RAHMAN, H.A.U.; ASIF, M.; HUSSAIN, M. Seed Priming; An Effective Way to Improve Plant Growth. **Ce Agriculture**, v. 6, n. 6, p. 1-6, 2020.

ALMEIDA, A.S.; BORTOLOTTI, M.; MEDEIROS, L.R.; MENEGHELLO, G.E.; KONZEN, L.H.; TUNES, L.M. Protrusão da radícula e métodos para superação de dormência de sementes de trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 3, p. 271-276, 2016.

ALVES, E.S.; RODRIGUES, L.N.; OLIVEIRA, R.A.; LORENA, D.R. **Déficit hídrico no crescimento e produtividade de soja irrigada na região do Cerrado brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2021, vol.25, n.11, pp.750-757. ISSN 1415-4366. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n11p750-757>.

AMARO, H. T. R.; DAVID, A.M.S.S.; ASSIS, M.O.; FIGUEIREDO, J.C.; CANGUSSÚ, L.V.S.; SILVA, M.B.O. Qualidade fisiológica de sementes de crambe tratadas com zinco e molibdênio. **In Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 2, p. 133-139, 2019.

ANDRADE C.A.; SOUZA, C.; SANTOS, M.O.; SILVA, D.M. Hydrogen peroxide promotes the tolerance of soybeans to waterlogging. **Scientia Horticulturae** v. 232, p 40-45, 2018. Doi:org/10.1016/j.scienta.2022.12.048.

ARMSTRONG, H.; McDONALD, M.B. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybeans seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 20, n. 3, p. 391-400, 1992.

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.

BATISTA, T. B.; BINOTTI, E. D. C.; BONOTTI, F.F.S.; SÁ, M.E.; SILVA, T.A. Priming of brachiaria seeds with different sugar sources and concentrations. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 843-849, 2018.

BECKERT, O.P. **O uso da hidratação como parâmetro para estimar o desempenho de sementes de soja**. 2001. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2ed. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BHANUPRAKASH, K.; YOGESHHA, H.S. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Abiotic stress physiology of horticultural crops**, New Delhi, p. 103-117, 2016.

BONOME, L.T.S.; GUIMARÃES, R.M.; OLIVEIRA, J.A.; DOUSSEAU, S. Osmoconditioning of *Urochloa brizantha* seeds to reduce pelleting negative effects.

Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura, Piracicaba, v. 92, n. 2, p. 87-100, 2017.

BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 5, p. 1105-1112, 1986.

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

BRUCE, T.J.A.; MATHES, M.C; NAPIER, J.A.; PICKETT, J.A. Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v.173, p.603-608, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945207002476>>. Acesso em: 25 janeiro 2022. doi: 10.1016/j.plantsci.2007.09.002.

CARVALHO, L. C.; FERREIRA, F. M.; BUENO, N. M. Importância econômica e generalidades para o controle da lagarta falsa-medideira na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1021-1034, 2012.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.27, p.295-341, 2008.

DECARLI, L.; LUDWIG, M.P.; GIROTTO, E.; Tratamento industrial em sementes de soja: qualidade fisiológica e desempenho da cultura. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Piracicaba, v. 14, n. 3, 2019.

DOU. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 45, DE 17 DE SETEMBRO DE 2013**.MAPA. DOU de 20/09/2013 (nº 183, Seção 1, pág. 6). Disponível em: <http://www.lex.com.br/legis_24861657_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_45_DE_17_DE_SETEMBRO_DE_2013.aspx>. Acesso em: 01/04/2021.

FARAJI, J.; SEPEHRI, A.; SALCEDO-REYES, J. C. Titanium dioxide nanoparticles and sodium nitroprusside alleviate the adverse effects of cadmium stress on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Universitas Scientiarum**, Bogotá, v. 23, n. 1, p. 61-87, 2018.

FARIAS, J.R.B.; J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Circular Técnica: Ecofisiologia da soja. **Embrapa**, Londrina, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470308/1/circtec48.pdf>. Acesso em:25/06/2021.

FAROOQ, M.; NADEEM, F.; GOGOI, N.; ULLAH, A.; ALGHAMDI, S.S.; NAYYAR, H.; & SIDDIQUE, K.H. Heat stress in grain legumes during reproductive and grain-filling phases. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 12, p. 985-1005, 2017.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa, p 84, 2016.

FREITAS, M.C.M. A Cultura da Soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer**, Goiânia-GO, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

GHOBADI, M.; ADNAVI, M.S.; HONARMAND, S.J.; GHOBADI, M.E.; MOHAMMADI, G.R. Effect of hormonal priming (GA3) and osmopriming on behavior of seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) **Journal of Agricultural Science**, v.4, n.9, 2012.

GHODRAT, V.; ROUSTA, M.J. Effect of priming with gibberellic acid (GA3) on germination and growth of corn (*Zea mays* L.) under saline conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4, n.13, p.882-885, 2012.

HENNING, A.A.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Aquisição de sementes**. 2021. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_64_271020069132.html. Acesso em: 27 out. 2021.

JELLER, H.; PEREZ, S.C.J.G.A. Efeitos dos estresses hídrico e salino e da ação de giberelina em sementes de *Senna spectabilis*. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 93-104, 2001.

JELLER, H.; PEREZ, S.C.J.G.A. Estudo da superação da dormência e da temperatura em sementes de *Cassia excelsa* Schrad. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, p. 32-40, 1999.

KAISER, I. S.; MACHADO, L.C.; LOPES, J.C.; MENGARDA, L.H.G. 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.

LANGEROODI, A.R.S; NOORA, R. Seed priming improves the germination and field performance of soybean under drought stress. **The Journal of Animal and Plant Sciences**. Tehran, p. 1611-1620, 2017.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 660 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de vigor de sementes: uma visão geral da perspectiva passada, presente e futura. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363-374, agosto de 2015.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. 2 ed. ABRATES, Londrina, PR, Brasil. 2015.

McDONALD, M.B. Seed priming. In: BLACK, M.; BEWLE Y, J.D. (Ed.). **Seed technology and its biological basis**. Sheffield: Sheffield Academic Press, p. 287–325, 2000.

MITCHELL, J.; MUKHTAR, N.K.; SKINNER, I.; BASSEL, G.W. Gibberellin response in the embryo epidermis regulates germination uniformity in response to seed priming. **bioRxiv**, Laurel Hollow, 436121, 2018.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas**. In: KRZYZANOSWIKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999, p.2.1-2.24.

OLIVEIRA, C.O.; LAZARINI, E.; TARSITANIO, M.A.A.; PINTO, C.C.; SÁ, M.E. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.82-88, 2015.

OLIVEIRA, R. **Pré-tratamento com peróxido de hidrogênio em sementes de soja induz tolerância ao estresse por déficit hídrico**. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2019. Cap. 1.

PEREIRA, S.R.; LIMA, A.E.S.; RODRIGUES, A.P.D.A.C.; OLIVEIRA, D.R.; LAURA, V.A. Priming of *Urochloa brizantha* cv. Xaraés seeds. **African Journal of Agriculture Research**, Pretoria, v. 13, n.1, p.2804-2807, 2018.

PIRES, R.M.O.; SOUZA, G.A.; CARDOSO, A.A.; DIAS, D.C.F.S.; BORGES, E.E.L. Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n.1, p. 022-029, 2016.

PIRES, R. M. O. **Protective action of nitric oxide on sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to different conditions of stress**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Plantas daninhas, Alelopatia, Herbicidas e Resíduos; Fisiologia de culturas; Manejo pós-colheita de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

OLIVEIRA, R. **Pré-tratamento com peróxido de hidrogênio em sementes de soja induz tolerância ao estresse por déficit hídrico**. 2020. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2019.

RIBEIRO, E.C.G.; REIS, R.G.E; VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, 2019.

SADEGI, H.; ROBATI, Z. Response of *Cichorium intybus* L. to eight seed priming methods under osmotic stress conditions. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Taichung, v.4, n. 4, p.443-448, 2015.

SANTOS, K.P.O. **Condicionamento fisiológico de sementes de soja com 24-epibrassinolídeo**. 2019. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019. Cap. 1.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, M.C.N. **Soja: Molibdênio e Cobalto**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 34 p. (Documentos, 322).

SILVA, A.L.; DIAS, D.C.F.S.; BORGES, E.E.L.; RIBEIRO, D.M.; SILVA, L.J. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on the germination of *Senna macranthera* seeds (DC. ex Collad.) HS Irwin & Baneby under salt stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 236-243, 2015.

SILVA, M.; ALMEIDA, T.; SCHEUNEMANN, L.; SILVA, R.; PANOZZO, L.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja com diferentes teores iniciais de umidade. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, 2016.

WOJTYLA, L.; LECHOWSHA, K.; KUBALA, S.; GARNCZARSKA, M. Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. 66, 2016. Doi: 10.3389/fpls.2016.00066.

ZHENG, M.; YE T.; HUSSAIN, S; WEI, J.Q.; SHAOBING, P.; LIANG, H.J.; HUI, C.K.; LIXIAO, N. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 78, n. 2, p.167-178, 2016.

ZHOUA, H.; LIANG, X.; FENG, N.; DIANFENG, Z. Effect of uniconazole to soybean seed priming treatment under drought stress at VC stage. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, China, v. 224, n. 147, p. 1-13, ago. 2021.