



VIVIAN ANDREA COY RODRÍGUEZ

**PRÉ-TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM O
METIL JASMONATO: INDUÇÃO DA LIBERAÇÃO DE
ETILENO DURANTE SIMULAÇÃO DE ESTRESSE
BIÓTICO E ABIÓTICO**

LAVRAS - MG

2022

VIVIAN ANDREA COY RODRÍGUEZ

**PRÉ-TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM O METIL
JASMONATO: INDUÇÃO DA LIBERAÇÃO DE ETILENO DURANTE
SIMULAÇÃO DE ESTRESSE BIÓTICO E ABIÓTICO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia/Fisiologia Vegetal, área
de concentração em Crescimento e
desenvolvimento de plantas, para a
obtenção do Título de Mestre

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

Prof. Dr. Ludwig Heinrich Pfenning
Coorientador

LAVRAS - MG

2022

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

Rodríguez, Vivian Coy.

Pré-tratamento de sementes de soja com o metil-
jasmonato: indução da liberação de etileno durante simulação de
estresse biótico e abiótico / Vivian Coy Rodríguez. - 2021.

70 p.

Orientador(a): Elisa Monteze Bicalho.

Coorientador(a): Ludwig Heinrich Pfenning.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Soja. 2. Metil jasmonato. 3. Liberação de etileno. I. Bicalho,
Elisa Monteze. II. Pfenning, Ludwig Heinrich. III. Título.

VIVIAN ANDREA COY RODRÍGUEZ

**PRÉ-TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM O METIL
JASMONATO: INDUÇÃO DA LIBERAÇÃO DE ETILENO DURANTE
SIMULAÇÃO DE ESTRESSE BIÓTICO E ABIÓTICO**

**PRE-TREATMENT OF SOYBEAN SEEDS WITH METHYL
JASMONATE: INDUCTION OF ETHYLENE RELEASE DURING BIOTIC
AND ABIOTIC STRESS SIMULATION**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia/Fisiologia Vegetal, área
de concentração em crescimento e
desenvolvimento de plantas, para a
obtenção do Título de Mestre

APROVADA em 28 de maio de 2021

Prof. Dr. Eduardo Gusmão Pereira, UFV

Prof.^a Dra. Mychelle Carvalho, IFTM

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

Prof. Dr. Ludwig Heinrich Pfenning
Coorientador

LAVRAS - MG

2022

Aos meus pais, Julia Edith e José Ercenobes e minha sobrinha Lizeth, a meus irmãos Julian, Felipe, Diego, Alejandro e Juan José, me dão as forças e o apoio necessários para lograr meus objetivos; vocês são minha maior felicidade e orgulho.

Mãe e Pai obrigada pelos valores e princípios, por me dar a força que preciso para conseguir voar.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, a Deus por me iluminar e me dar proteção.

À minha família pelo apoio, amor, e incentivo para a materialização desse objetivo.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, à UFLA, pela oportunidade de estudo e ao Setor de Fisiologia Vegetal, pelo crescimento profissional e pessoal.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Elisa Monteze Bicalho, pela confiança, apoio e orientação.

À Ana Maria pelo esforço e contribuição para com o projeto.

Aos integrantes do Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas, sempre dispostos a ensinar, ajudar e contribuir.

Aos meus colegas e amigos Daniel, Josyelem, Geovane, Lissa, Marlon, Fernando, Damian e Fabiola, sempre otimistas com o projeto, me alentando para continuar e contribuindo científica e moralmente para os momentos difíceis e alegres.

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.

John Ruskin

RESUMO

Os jasmonatos são compostos que induzem uma defesa constitutiva direta contra alguns estresses, bióticos e abióticos, e são utilizados como elicitores em soja para induzir uma defesa frente a condições bióticas ou abióticas estressantes. Entretanto, o seu papel na indução de produção de voláteis, especificamente de etileno, durante o processo germinativo, é pouco estudado. Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a liberação de etileno em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) durante as diferentes fases de absorção de água no processo germinativo, de sementes tratadas com diferentes concentrações de MeJA (Metil-jasmonato), a relação da liberação de etileno com as enzimas do sistema antioxidante, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e teores de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), e malondialdeído (MDA), em plântulas de soja de estágio vegetativo V1 provenientes de sementes tratadas com MeJA. Foi também avaliado o crescimento de plântulas de soja tratadas ou não com MeJA e submetidas a condição de déficit hídrico e simulação de herbivoria. O MeJA induziu liberação de etileno em sementes durante as diferentes fases de absorção de água, sendo a concentração 12.5 µM de MeJA a que apresentou melhores resultados para índice de velocidade de germinação (IVG) e o T50. As plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com MeJA sob simulação de herbivoria, apresentaram diferença significativa no teor de etileno liberado, em comparação ao déficit hídrico. Assim mesmo, o MeJA promoveu maiores teores de H₂O₂ e MDA para as plântulas submetidas a condição de déficit hídrico, mas não promoveu a atividade de enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX, sobre as condições estressantes. Por fim nas variáveis de crescimento a condição déficit hídrico provocou menor crescimento de caule e raiz, assim como de massa seca de raiz e número de folhas. Com estes resultados conclui-se que o MeJA induz a liberação de etileno durante as diferentes fases absorção de água do processo germinativo e em plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com MeJA sob simulação de herbivoria, além de promover maiores teores de H₂O₂ e MDA para as plântulas submetidas a condição de déficit hídrico. Este trabalho proporciona um referente para pesquisas na área de indução de resistência sistêmica, assim como para analisar a importância dos hormônios MeJA e etileno na defesa das plantas contra herbivoria.

Palavras-chave: Soja. Déficit hídrico. Simulação de herbivoria. Metil-jasmonato. Etileno. Enzimas.

ABSTRACT

Jasmonates are compounds that induce a direct constitutive defense against some stresses, both biotic and abiotic, and are used as elicitors in soybean to induce a defense against stressful biotic or abiotic conditions. However, its role in inducing the production of volatiles, specifically ethylene, during the germination process is poorly studied. In view of the above, the objectives of the present work were to evaluate the release of ethylene in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merr.) during the different phases of water absorption in the germination process, from seeds treated with different concentrations of MeJA (Methyl-jasmonate), the relationship of ethylene release with the enzymes of the antioxidant system, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and levels of hydrogen peroxide (H₂O₂), and malondialdehyde (MDA), in V1 vegetative stage soybean seedlings from seeds treated with MeJA. The growth of soybean seedlings treated or not with MeJA and submitted to water deficit condition and herbivory simulation was also evaluated. MeJA induced ethylene release in seeds during the different phases of water absorption, being the concentration of 12.5 μ M of MeJA the one that presented the best results for germination speed index (IVG) and T50. Soybean seedlings from seeds treated with MeJA under herbivory simulation showed a significant difference in the content of ethylene released, compared to water deficit. Likewise, MeJA promoted higher levels of H₂O₂ and MDA for seedlings submitted to water deficit condition, but did not promote the activity of SOD, CAT and APX antioxidant enzymes under stressful conditions. Finally, in the growth variables, the water deficit condition caused less growth of stem and root, as well as root dry mass and number of leaves. With these results, it is concluded that MeJA induces the release of ethylene during the different phases of water absorption of the germination process and in soybean seedlings from seeds treated with MeJA under herbivory simulation, in addition to promoting higher levels of H₂O₂ and MDA for seedlings submitted to water deficit condition. This work provides a reference for research in the area of systemic resistance induction, as well as for analyzing the importance of the hormones MeJA and ethylene in the defense of plants against herbivory.

Keywords: Soy. Water deficit. Herbivory simulation. Methyl jasmonate. Ethylene. Enzymes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Curva de embebição de sementes de soja (Glicine max var. Monsoy 6410).....25
- Figura 2.** Variáveis germinativas de sementes de soja submetidas a diferentes concentrações de MeJA (metil jasmonato)33
- Figura 3.** Liberação de etileno (ppm/gr), durante as diferentes fases de absorção de água no processo de germinação de sementes de soja34
- Figura 4.** Variáveis de crescimento de plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com MeJA sobre condições de déficit hídrico e simulação de herbivoria36
- Figura 5.** Análise Bioquímica38
- Figura 6.** Liberação de etileno em plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com MeJA sobre condições de déficit hídrico e simulação de herbivoria.41

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Liberação de etileno em função das fases e tempos de embebição em sementes de soja variedade Monsoy 6410 tratadas com 5 concentrações de MeJA e o controle (água deionizada).....35

SUMARIO

PARTE 1.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 A cultura da soja no Brasil: perspectivas de mitigação de efeitos do estresse e melhorias na produtividade.....	4
2.2 O papel do JAs na indução de resistência sistêmica e de mitigação de efeitos do estresse biótico e abiótico em plantas.....	5
2.3 Papel do etileno na defesa das plantas	7
2.4 Papel das Espécies reativas de oxigênio (EROs) e sistema antioxidante em situações de estresse biótico e abiótico	9
2.5 O pré-tratamento de sementes como indução de tolerância cruzada contra estresses bióticos e abióticos.....	10
3 REFERENCIAS	12
PARTE 2: ARTIGO	21
1. INTRODUÇÃO	22
2. MATERIAL E METODOS.....	24
2.1 Material vegetal.....	24
2.2 Condução do experimento.....	24
2.3 Curva de embebição em sementes de soja	25
2.4 Preparo da solução estoque de metil jasmonato (MeJa)	25
2.5 Exposição das sementes aos tratamentos de MeJA.....	26
2.6 Caracterização da liberação de etileno durante a germinação de sementes de soja tratadas com MeJa	27
2.7 Cultivo de plântulas de soja sob condições estressantes: efeitos do déficit hídrico e da simulação da herbivoria.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSÃO.....	32
3.1 Germinação e liberação de etileno em sementes de soja tratadas com MeJA	32
3.2 Crescimento de plântulas de soja previamente tratadas com MeJA sob condições estressantes	36

3.3 Efeito do pré-tratamento com MeJA na atividade de enzimas antioxidantes, H₂O₂ e peroxidação lipídica.....	38
3.4 Efeito do MeJA na liberação de etileno de plântulas de soja previamente tratadas com MeJA sob condições estressantes	40
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERENCIAS	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55

PARTE 1.

1 INTRODUÇÃO GERAL

As plantas apresentam diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos contra estresses bióticos e abióticos, que as permitem sobreviver em ambientes fora das condições ótimas para seu desenvolvimento. Existem diferentes fatores abióticos (temperaturas baixas e elevadas, alta luminosidade, déficit hídrico, salinidade, material particulado) e bióticos (presença de patógenos e pragas) que podem causar estresses tanto em sementes como plântulas. Tanto condições bióticas como abióticas estressantes podem causar estresse oxidativo e mudanças metabólicas, que desencadeiam efeitos negativos na germinação, crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas (HOLOPAINEN; GERSHENZON, 2010; MARTÍNEZ et al., 2018). Esses estresses induzem a produção de metabólitos secundários, como a liberação de compostos orgânicos voláteis (COVs) (MEWIS, 2005), e a maior atividade de enzimas antioxidantes, como mecanismo controlador do excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) (MITTLER, 2002). Esses mecanismos estão envolvidos no processo de defesa da planta, em busca de mitigar ou diminuir o impacto causado pelo estresse.

A condição de déficit hídrico no ambiente, induz diversos mecanismos de resposta atenuando os efeitos do estresse, e dessa forma levam à tolerância ao déficit hídrico. Na fase de germinação e estabelecimento inicial, alguns desses mecanismos incluem o acúmulo de moléculas osmorreguladoras, metabolização de EROs, e ajustes estruturais; ao nível celular, ajustes no sistema de membranas, modificações na arquitetura da parede e mudanças na frequência de divisões celulares (FAROOQ et al., 2009). A produção de EROs durante a germinação e estabelecimento inicial de plântulas acontece a partir de diversos processos. A embebição da semente provoca a produção de peróxido de hidrogênio e outras EROs (BAILLY, 2004). Durante o processo germinativo, o metabolismo mitocondrial e a atuação de peroxissomos, como na β -oxidação de ácidos graxos associada à mobilização de reservas em sementes oleaginosas, são as principais fontes de formação de EROs. Em condições de déficit hídrico, a atuação de NADPH oxidases podem estar envolvidas na produção de EROs induzida por ácido abscísico (SMIRNOFF, 2008).

A atuação de enzimas antioxidantes são um importante alvo no controle de estresse oxidativo, desencadeado por agente biótico ou abiótico; catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD) são enzimas presentes nas principais rotas de metabolização de espécies reativas de oxigênio em plantas (MITTLER, 2002). Outro

mecanismo de defesa das plantas, é a produção de metabólitos secundários e liberação de COVs, que podem além de proporcionar uma resistência sistêmica direta, alertar as plantas vizinhas contra um possível ataque (MARÍN-LOAIZA; CÉSPEDES, 2007).

Em relação à herbivoria, considerado um tipo de estresse biótico, relata-se que o ataque de um herbívoro ativa as rotas de sinalização do metabolismo primário e secundário, como resposta de defesa da planta. Dentre os compostos produzidos, encontramos os COVs, que repelem o ataque de herbívoros ou atraem inimigos naturais. Além de seu papel na proteção, estes compostos podem ser detectados por plantas vizinhas, e dessa forma ser alertadas (MARÍN-LOAIZA; CÉSPEDES, 2007; RIFFEL; COSTA, 2015). Diferentes são os compostos liberados através da ativação de rotas bioquímicas, como terpenos, etileno, ácidos graxos e compostos aromáticos (PINHEIRO, 2017).

A emissão de COVs das plantas varia muito, dependendo da espécie, órgão, estágio de desenvolvimento e condições ambientais. Fatores ambientais, tanto bióticos e abióticos, tem particularmente grande impacto sobre os voláteis liberados a partir das partes vegetativas (RIFFEL; COSTA, 2015). Algumas pesquisas apontam que aproximadamente 1.700 substâncias são emitidas por espécies vegetais, estando presentes durante todo o ciclo de vida da planta (BOLSONI, 2017; LORETO; SCHNITZLER, 2010). Dentro destes voláteis destaca-se o etileno, produto do metabolismo primário da planta, é um hormônio que regula diferentes aspectos do ciclo de vida, incluindo germinação de sementes, rizogênese, desenvolvimento de flores, determinação de sexo, amadurecimento de frutos, senescência e respostas ao estresse biótico e abiótico (LIN; ZHONG; GRIERSON, 2009)

Diversas pesquisas expõem a importância da utilização de elicitores, como indutores de resistência sistêmica induzida da planta frente a condições abióticas ou bióticas estressantes. Relata-se que aplicação exógena de jasmonatos (JAs) em uma ampla variedade de plantas de interesse agrônomo como tomate, alface, algodão, aveia, batata, tabaco, soja, estimula a tolerância e resistência frente a estresses abióticos e bióticos respectivamente (FARMER; ALMÉRAS; KRISHNAMURTHY, 2003; JAITI; VERDEIL; EL HADRAMI, 2009; RODRIGUEZ-SAONA et al., 2001; ROHWER; ERWIN, 2008, 2010; RYAN, 2000). Os jasmonatos são fitormônios de origem lipídica, de estrutura molecular semelhante às prostaglandinas em animais (ABDALA; CENZANO, 2006). Essa classe de fitormônios, além de apresentar um papel importante no crescimento e desenvolvimento, induz uma defesa constitutiva direta contra alguns estresses (ABDALA; CENZANO, 2006).

A ocorrência de déficit hídrico e herbivoria, é comum em culturas agrícolas no Brasil. Durante os últimos anos o déficit de chuvas tem provocado grandes perdas no setor agrícola do país, principalmente em soja (*Glycine max*) uma das lavouras com maior valor de produção do Brasil. Segundo o censo realizado em 2020, o Brasil colheu 121.5 milhões de toneladas de soja (CENSO AGRO, 2020). Além das perdas causadas pelo déficit de chuvas, a cultura da soja é altamente prejudicada pelo ataque de insetos e pragas, desde a germinação à colheita (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000).

Embora existam trabalhos que relatem a aplicação de JAs por aspersão via foliar em soja para induzir uma defesa frente a condições bióticas ou abióticas estressantes (KERAMAT; KALANTARI; ARVIN, 2009; LAREDO ALCALÁ et al., 2017; ROHWER; ERWIN, 2008; SANCHES et al., 2017), são poucos os trabalhos que comparam a resposta da aplicação deste fitormônio frente a um estresse biótico com um estresse abiótico, e mais ainda sendo utilizado como pré-tratamento em sementes. Há trabalhos que avaliam a aplicação de JAs como pré-tratamento em sementes, mas não investigando-o como indutor da produção de voláteis, especificamente de etileno, durante o processo germinativo. (ABDELGAWAD; KHALAFAALLAH; ABDALLAH, 2014; SHETEIWY et al., 2018; ZALEWSKI et al., 2020)

Diante do exposto, este trabalho traz a hipótese de que plântulas de soja de estágio vegetativo V1, provenientes de sementes tratadas com Metil Jasmonato (MeJA), evidenciam maior liberação de etileno e maior atividade de enzimas antioxidantes, minimizando os efeitos do déficit hídrico e da simulação de herbivoria. Desta forma, objetivou-se avaliar a liberação de etileno em sementes de soja tratadas com diferentes concentrações de MeJA, e em plântulas de soja de estágio vegetativo V1 provenientes de sementes tratadas com MeJA, sob condição de déficit hídrico e simulação de herbivoria, além da atividade de enzimas antioxidantes, H₂O₂, MDA e o crescimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja no Brasil: perspectivas de mitigação de efeitos do estresse e melhorias na produtividade

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no Brasil tem sido movida por inovações tecnológicas desde 1970 envolvendo diferentes atores, tanto públicos quanto privados, com o desafio de produzir cultivares de soja para condições subtropicais e tropicais do Brasil (GAZZONI, 2018). Atualmente, as cultivares de soja que estão no mercado, atingem aproximadamente 121.5 milhões de toneladas por ano, sendo esta cultura responsável pelo 48% da produção total de grãos no país, convertendo o Brasil ao segundo produtor mundial de soja (CENSO AGRO, 2020). Ainda existem desafios na cultura da soja, e diversas tecnologias são desenvolvidas para incorporar às cultivares características genéticas de tolerância ou resistência a condições estressantes (GAZZONI, 2018). Além disso, procura-se a sustentabilidade das atividades agrícolas por meio da criação de inovações e tecnologias menos agressivas ao meio ambiente e à saúde humana (TEIXEIRA, 2016).

Diferentes são os estresses ambientais que ocasionam perdas significativas na produtividade de soja; relata-se alguns estresses abióticos como salinidade, déficit hídrico, alta luminosidade, e metais pesados (BAHRY et al., 2014; CARVALHO et al., 2012; KERAMAT; KALANTARI; ARVIN, 2009; LIMA et al., 2004) e bióticos como pragas e doenças (FIDELIS et al., 2003; HOFFMANN-CAMPO et al., 2000). Algumas técnicas são utilizadas como ferramenta para induzir tolerância e resistência a estresses abióticos e bióticos respectivamente, tanto em sementes como plântulas de soja. Entre as várias estratégias, o *priming* (ou pré-tratamento) de sementes, é uma técnica eficaz e prática para aumentar a emergência rápida e uniforme, alto vigor da muda e melhores rendimentos, sob um ambiente adverso (DAI et al., 2017). Outra técnica é a aplicação de bioestimulantes com efeito antiestresse, incluindo produtos à base de ácidos fúlvicos e extratos de algas *Ascophyllum nodosum* (L.) (ROSÁRIO et al., 2021). A aplicação de elicitores como indutores de resistência sistêmica é uma ferramenta de inovação utilizada com o objetivo de gerar um mecanismo de defesa na planta frente a condições bióticas ou abióticas estressantes (ROHWER; ERWIN, 2008). Recentemente é utilizada a aplicação de jasmonatos (JAs) em sementes com a finalidade de gerar uma proteção durante um tempo prolongado frente a diferentes tipos de estresse em variedade de cultivos agrícolas (LAREDO ALCALÁ et al., 2017).

O déficit hídrico decorrente de chuvas escassas e mal distribuídas tem ocasionado grandes perdas no setor agrícola do país, principalmente em soja, o que é anualmente noticiado no Brasil. A cultura vem apresentando um crescimento nos anos recentes, e para atender esse crescimento, é necessário o aumento da produtividade desta cultura, sem necessariamente expandir as áreas de cultivo. No entanto, a escassez de chuva em regiões produtoras comprometem a produção, gerando grandes quedas de produtividade (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). No estado do Mato Grosso, o maior produtor de soja do Brasil, estima-se que uma área de 281,8 mil hectares tenha sido ressemeada devido ao déficit hídrico das plantas, com prejuízo de aproximadamente R\$ 64,8 milhões para sementes e diesel (IMEA, 2015). Algumas regiões do estado de Mato Grosso tiveram aumento de até 38% no custo de produção de soja devido à ressemeadura (PROJETO SOJA BRASIL, 2016).

A herbivoria ocasiona uma diminuição da área total fotossintetizante, e assim um prejuízo para o desenvolvimento vegetal na sua totalidade; ao conter menor quantidade de compostos fotossintetizados, podem-se tornar insuficientes para os processos de diferenciação, crescimento e maturação das estruturas da planta, comprometendo de forma direta a produtividade do cultivo (SOUZA, 2017). Pesquisas relatam que a herbivoria em soja causa mudanças na composição química das folhas, além de induzir a liberação de voláteis e gerar uma defesa induzida (DE BORTOLI et al., 2012; LOPES et al., 2012). Dessa forma, o uso de compostos para mitigação de efeitos de estresses abióticos e bióticos em soja, faz-se necessário.

2.2 O papel do JAs na indução de resistência sistêmica e de mitigação de efeitos do estresse biótico e abiótico em plantas

Ao se expor uma planta a uma condição estressante biótica ou abiótica será desencadeada uma via de sinalização diferente. Uma das vias induzidas por condições bióticas é a que ocorre em resposta à ativação da síntese de moléculas de sinalização após o reconhecimento do ataque, que ativa a rota de sinalização do ácido jasmônico. O JA e seus derivados são considerados componentes da via de transdução de sinal nos mecanismos de defesa das plantas e tem havido aumentos em seus níveis endógenos em plantas submetidas ao estresse (CAMARENA-GUTIÉRREZ; DE LA TORRE-ALMARÁZ, 2007; LAREDO ALCALÁ et al., 2017). A sinalização por JA possui dois caminhos, que cruzam com outras vias hormonais, a via do etileno e do ácido abscísico, por meio de fatores de transcrição em comum (ZHU; LEE, 2015), culminando na ativação de genes de resposta à defesa.,

Em condições abióticas como seca e salinidade, os JAs atuam de forma independente ou em conjunto com outros hormônios; os JAs assim como o ABA promovem o fechamento

estomático, levando a uma maior tolerância à seca; além de ter um papel importante na modulação da condutividade hidráulica da raiz, que pode contribuir para a absorção de água do solo com umidade limitada. Em contraste com os JAs, que promovem o fechamento estomático, o etileno tem sido implicado tanto na abertura quanto no fechamento estomático. Por um lado, o etileno inibe o fechamento estomático induzido por ABA, e por outro lado, a etileno promove o fechamento estomático ao promover a produção de ROS mediada por NADPH oxidase em células-guarda estomáticas (KAZAN, 2015).

Os JAs são produzidos pela planta após dano por um patógeno ou inseto em eventos de estresses bióticos, e resulta em um aumento na concentração de compostos de indução de resistência, como ácido salicílico e etileno (ABDALA; CENZANO, 2006). As lesões provocadas pelo ataque de herbívoros, ativam os mecanismos de defesa em toda a planta, tanto nos tecidos diretamente danificados (resposta local) como nas áreas não danificadas (resposta sistêmica), além de outras plantas (FARMER; ALMÉRAS; KRISHNAMURTHY, 2003). A recuperação do tecido danificado é uma função relacionada às respostas locais e as defesas contra o herbívoro são locais e sistêmicas, com mudanças metabólicas e indução da expressão de genes (LEÓN; ROJO; SÁNCHEZ-SERRANO, 2001).

A resposta sistêmica das plantas contra a ação de herbívoros envolve a ação de duas moléculas sinalizadoras: o oligopeptídeo sistemina e os JAs. Existem evidências de que a sistemina é um sinal primário de longa distância, a sua existência e função estão bem documentadas somente em Solanaceae (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013) . A sistemina é liberada pela célula danificada e, rapidamente, se difunde por toda a folha e, pelo floema, atinge as demais folhas das plantas, posteriormente atua sobre os receptores, que ativam a via dos octadecanoides, iniciando assim a síntese de JAs que induzirá a produção de proteínas inibidoras de proteinases (DEUNER et al., 2015; RYAN, 2000).

Frente aos estresses abióticos, os JAs são considerados importantes sinalizadores moleculares, ativando a indução de genes envolvidos em respostas hipersensíveis da planta, e providenciando a indução de respostas fisiológicas contra o déficit hídrico (CREELMAN; MULLET, 1997; LORETO; SCHNITZLER, 2010). A aplicação exógena dos jasmonatos nas plantas produz efeitos muito variados, dentre eles: inibe o alongamento de raízes, a germinação e o crescimento de sementes, promove a biossíntese de etileno, a degradação da clorofila e o fechamento dos estômatos em condições de estresse e aumenta a resistência das plantas a infecções por patógenos (SÁNCHEZ, 2008). Relata-se que para o milho com tratamento de pré-embebição com MeJA, e na fase de plantas sob diferentes níveis de capacidade de campo

de água, o MeJA levou a aliviar os efeitos nocivos do estresse hídrico (ABDELGAWAD; KHALAFAALLAH; ABDALLAH, 2014).

Existem trabalhos que relatam a relação dos JAs com a germinação de sementes, bem como sua formação e resistência a estresses. Segundo CREELMAN; MULLET, (1997) estes compostos inibem a germinação de sementes não dormentes e estimulam a germinação de sementes dormentes, provavelmente, alterando a sensibilidade das mesmas ao ácido abscísico (ABA). Os JAs também regulam o controle maternal do desenvolvimento de sementes e das anteras e o desenvolvimento de tricomas glandulares (LAREDO ALCALÁ et al., 2017), e a produção de metabólitos secundários (DEUNER et al., 2015).

Relata-se que aplicação exógena de JAs em uma ampla variedade de plantas de interesse agrônomico estimula a tolerância e resistência frente a estresses abióticos e bióticos respectivamente (FARMER; ALMÉRAS; KRISHNAMURTHY, 2003). Pulverizar plantas de tomate com 100 μ M de MeJA um dia antes da infestação com ácaros, causou a dispersão destes (ROHWER; ERWIN, 2010). No algodão, reduziu a sobrevivência e reprodução em 40% e 75% respectivamente de ácaros e pulgões em plântulas tratadas com ácido jasmônico (JA) (OMER et al., 2001). Para soja tratada com JA conseguiu a ativação de genes que codificam enzimas como a fenilalanina amônio liase e a chalcona sintetase, proteínas envolvidas na defesa das plantas contra patógenos, herbívoros e, além do estresse físico e químico (ROHWER; ERWIN, 2008). Ademais, o JA induziu respostas de defesa contra pragas para as culturas de alface, aveia, batata e tabaco (JAITI; VERDEIL; EL HADRAMI, 2009; RODRIGUEZ-SAONA et al., 2001; RYAN, 2000).

2.3 Papel do etileno na defesa das plantas

O etileno é um hormônio vegetal que regula diferentes aspectos do ciclo de vida das plantas, incluindo germinação de sementes, rizogênese, desenvolvimento de flores, determinação de sexo, amadurecimento de frutos, senescência e respostas ao estresse biótico e abiótico (LIN; ZHONG; GRIERSON, 2009). Ele é conhecido como o hormônio primário da senescência de plantas em condições de estresses e pode ser produzido em todos os tecidos.

Pesquisas relatam que a produção de etileno induzida pelo déficit hídrico pode ajudar a planta a lidar com condições de estresse, um claro exemplo é que sob condições de seca a produção de etileno causa a abscisão foliar e assim, reduz a perda de água pela planta (SHI et al., 2015). Existem algumas incoerências na literatura sobre o efeito do déficit hídrico na produção de etileno. A condição de déficit hídrico é um dos fatores associados ao aumento na

taxa de produção do etileno, entretanto, em alguns casos pode reprimir a produção de etileno (SOBEIH et al., 2004). Entende-se que o efeito do estresse por déficit hídrico sobre a síntese de etileno depende da taxa na qual as plantas são estressadas. Assim, a indução rápida do estresse hídrico promove a produção do hormônio porém a indução lenta deve inibir a produção do mesmo (AVRAMOVA et al., 2015; MORGAN; DREW, 1997).

Em relação à incidência de herbivoria na produção do etileno, destacam-se mais pesquisas que relatam a produção de etileno após dano (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013). Galhos de *Pinus sylvestris* tratados com JA liberaram muito mais etileno e mostraram maior variabilidade de etileno que os não tratados, e que os tratados com ovos de mosca-serra (*Diprion pini* L.) e os feridos artificialmente (SCHRÖDER et al., 2007). Assim mesmo foi comprovada a produção de etileno em culturas com células de tomate após dano e ação de elicitores como sistemina, fragmentos oligogalacturonídeos e JA (O'DONNELL et al., 1996).

Na germinação tem sido verificado que o etileno tem um papel fundamental, e seus níveis aumentam uma vez que as sementes são expostas a condições de estresse. Sementes em processo de germinação de milho, algodão e fava, evidenciaram liberação de etileno durante as primeiras 72 horas de germinação. A quantidade de etileno liberada diminuiu com o decorrer da germinação, a produção de etileno parou completamente após 72 horas, verificou-se também que a quantidade de etileno variou de acordo com a variedade da semente (AFIFI; EBID; EL-GINDY, 1977). Foi pesquisada a influência do etileno na germinação de sementes de rabanete e verificou-se que o processo germinativo das sementes de rabanete não é alterado pelo aumento da concentração de etileno, mas em contrapartida os parâmetros de desenvolvimento (comprimentos de hipocótilo e radícula) são drasticamente reduzidos pelo etileno (SOUZA et al., 2011). Em sementes sob condições de estresse foi reportado que, o estresse salino conduz à aumento da produção de etileno em sementes de *Stylosanthes humilis* Kunth (SILVA et al., 2018). Aplicação exógena de MeJa em sementes de *Prunus persica* estimula a expressão de genes de biossíntese do próprio etileno tanto em semente como no mesocarpo (TORRIGIANI et al., 2012). Embora existem trabalhos que avaliam a produção de etileno com aplicação de estresse ou de compostos como pré-tratamento em sementes, ainda existem muitas questões por elucidar.

2.4 Papel das Espécies reativas de oxigênio (EROs) e sistema antioxidante em situações de estresse biótico e abiótico

As EROs são um produto comum do metabolismo de plantas sendo parte funcional do sistema de sinalização (MITTLER et al., 2011). No entanto, em condições estressantes apresentam uma atuação nociva, quando sua produção ultrapassa a capacidade de metabolização do sistema antioxidante presente nas células. Nessa situação ocorre um acúmulo de EROs e um desequilíbrio na homeostase redox, provocando assim danos à estrutura e funcionamento da célula, porem um estresse oxidativo (CAVERZAN; CASASSOLA; BRAMMER, 2016). Condições estressantes podem elevar a produção de EROs, e estas a sua vez podem ser altamente citotóxicas por reagir com lipídeos, proteínas e DNA, causando assim peroxidação lipídica, desnaturação de proteínas e mutações no DNA (XING et al., 2016). Dessa forma, a peroxidação de membranas plasmáticas leva ao extravasamento do conteúdo celular, rápida dessecação e posteriormente morte celular (CHRISTINE H.; GRAHAM, 2000; MITTLER et al., 2011).

A maior produção de EROs numa espécie vegetal pode ser removido por meio do sistema antioxidante enzimático e não enzimático. O sistema antioxidante enzimático é composto por enzimas como CAT, APX e SOD, entre outras; e no sistema não enzimático atuam compostos como o ascorbato e carotenoides (MILLER et al., 2010; XING et al., 2016). Dentre as principais EROs, destacam-se o ânion superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o oxigênio singlete (1O_2) e o radical hidroxila (OH^-) (HUANG et al., 2019). As organelas onde são produzidos EROs são os cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos, durante a fotossíntese, respiração e fotorrespiração respectivamente, podendo, também, ser produzidas nas membranas plasmáticas (MITTLER et al., 2011).

Em condição de déficit hídrico o acúmulo de EROs e o consequente estresse oxidativo podem reduzir a capacidade de germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas; na fase de planta o déficit hídrico provoca um excesso de energia disponível nos fotossistemas dos tilacóides, fazendo com que as reações fotoquímicas da fotossíntese gerem maiores níveis de EROs, como o H_2O_2 , O_2^- , HO^\bullet e o oxigênio singlete 1O_2 , que podem causar estresse oxidativo através da oxidação de proteínas, moléculas de RNA, DNA, lipídeos e pigmentos fotossintéticos, além de induzir a ativação da morte celular programada (MITTLER, 2002; PYNGROPE; BHOOMIKA; DUBEY, 2013; SILVA et al., 2012); na herbivoria a alta taxa de produção de EROs tem ocasionado alterações na expressão de proteínas do complexo envolvendo oxigênio (OEC) com altos níveis de degradação desse complexo (COLLINS et al.,

2010), além o H_2O_2 que pode mover-se através das membranas, causando danos as mesmas através da peroxidação lipídica (TIAN et al., 2016), no entanto a oxidação de proteínas pelas EROs ativa fatores de transcrição EROs-responsivos desencadeando a biosíntese do JA (BALDWIN, 2010). A eficiência do sistema de metabolização de espécies reativas de oxigênio como a atuação de enzimas antioxidantes faz parte dos mecanismos de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação e desenvolvimento inicial de plântulas (BAILLY, 2004).

2.5 O pré-tratamento de sementes como indução de tolerância cruzada contra estresses bióticos e abióticos.

Diferentes são os tratamentos utilizados para induzir uma tolerância aos estresses ambientais, e muitos são usados como pré-tratamentos em sementes, com o objetivo de preparação para situações adversas em campo. Como pré-tratamentos de indução de tolerância cruzada são utilizados fitohormônios, bioestimulantes, nutrientes, bioativadores entre outros (FERREIRA et al., 2007; GHASSEMI-GOLEZANI; NIKPOUR-RASHIDABAD, 2017; KALAIVANI; MARUTHI-KALAISELVI; SENTHIL-NATHAN, 2020; LAUXEN; VILLELA; SOARES, 2010; MORAVCOVÁ et al., 2018).

A utilização destes compostos químicos e orgânicos tem visado respostas positivas para algumas espécies submetidas a condições estressantes. Na técnica de *priming*, a germinação é induzida na presença de soluções específicas, durante a absorção da solução pela semente, é induzido uma série de mecanismos bioquímicos capazes de permitir o desenvolvimento das plântulas e sobrevivência destas sob condição de estresse (MENTEN; MORAES, 2010).

A viabilidade econômica e a facilidade de aplicação desta técnica é uma vantagem na produção agrícola. É uma técnica simples e de baixo custo que melhora a germinação e o estabelecimento das mudas, ativando vários processos fisiológicos e metabólicos e preparando a espécie a situações ambientais adversas (JOHNSON; PUTHUR, 2021).

Há trabalhos que reportam a mitigação do estresse em plantas provenientes de sementes tratadas com MeJA. Utilização de *priming* com ácido jasmônico (JA) melhorou significativamente o potencial hídrico, o potencial osmótico, a eficiência do uso da água, e o conteúdo relativo de água de duas cultivares de soja sob estresse salino (SHETEIWY et al., 2018). Também foram verificadas alterações nos níveis de ABA, ácido giberélico (GA) e JA; os teores de monodeidroascorbato redutase (MDHAR), dehidroascorbato redutase (DHAR) e prolina diminuíram nas mudas tratadas com JA sob estresse salino, enquanto o teor de ascorbato (AsA) aumentou com o tratamento com JA combinado com estresse de NaCl (SHETEIWY et al., 2018). Foi avaliado o pré-tratamento de sementes quanto à sua capacidade de proteger

mudas de tomate contra a murcha causada pelo fungo patógeno *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, e observou-se um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos como ácido salicílico (SA), campeferol e quercetina, esses resultados indicam preparação de sementes de tomate com MeJA antes da semeadura permite que as mudas crescidas a partir dessas sementes reduzam o ataque do fungo patogênico (KRÓL et al., 2015). Da mesma forma, observou-se que pré-tratamento dos grãos de milho com MeJA levou a aumentos nas variáveis de crescimento da planta sob déficit hídrico, evidentes em termos de altura da planta, peso fresco e seco da planta, os níveis de açúcar solúvel total, polissacarídeos, aminoácidos livres, prolina e conteúdo de proteína total estavam marcadamente aumentados. Além disso, a aplicação do MeJA melhorou as atividades de CAT oxidativa, POX e SOD (ABDELGAWAD; KHALAFAALLAH; ABDALLAH, 2014).

3 REFERENCIAS

- ABDALA, G.; CENZANO, A. **Biosíntesis de jasmonatos y participación en procesos del desarrollo vegetal**. SAFV, Temas de Fisiología Vegetal, n. January, p. 56–87, 2006.
- ABDELGAWAD, Z. A.; KHALAFAALLAH, A. A.; ABDALLAH, M. M. Impact of Methyl Jasmonate on Antioxidant Activity and Some Biochemical Aspects of Maize Plant Grown under Water Stress Condition. **Agricultural Sciences**, v. 05, n. 12, p. 1077–1088, 2014.
- AFIFI, A. F.; EBID, M. F.; EL-GINDY, A. A. Ethylene production during seed germination of some plants. **Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene. Zweite naturwissenschaftliche Abt.: Allgemeine, landwirtschaftliche und technische Mikrobiologie**, v. 132, n. 8, p. 673–676, 1977.
- ANDERSON, J. M. Jasmonic Acid-Dependent Increase in Vegetative Storage Protein in Soybean Soybean Tissue Cultures. **J Plant Growth Regulation**, v. 10, p. 5–10, 1991.
- AVRAMOVA, V. et al. Drought induces distinct growth response, protection, and recovery mechanisms in the maize leaf growth zone. **Plant Physiology**, v. 169, n. 2, p. 1382–1396, 2015.
- BAHRY, C. A. et al. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento da soja em condição de estresse hídrico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 288–292, 2014.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v. 14, n. 2, p. 93–107, 2004.
- BALDWIN, I. T. Plant volatiles. **Current Biology**, v. 20, n. 9, p. 392–397, 2010.
- BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-Aeration following Hypoxia or Anoxia Leads to Activation of the Antioxidative Defense System in Roots of Wheat Seedlings. **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 651–658, 1998.
- BOLSONI, V. P. **Compostos orgânicos voláteis (COV) emitidos por espécies vegetais da Mata Atlântica sob alto ozônio** Compostos orgânicos voláteis (COV) emitidos por espécies vegetais da Mata Atlântica sob alto ozônio. São Paulo: [s.n.].
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: [s.n.].
- CAMARENA-GUTIÉRREZ, G.; DE LA TORRE-ALMARÁZ, R. Resistencia Sistémica Adquirida en Plantas: Estado Actual. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del**

Ambiente , v. 13, n. 2, p. 157–162, 2007.

CARVALHO, T. C. DE et al. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1366–1371, 2012.

CAVERZAN, A.; CASASSOLA, A.; BRAMMER, S. P. Antioxidant responses of wheat plants under stress. **Genetics and Molecular Biology**, v. 39, n. 1, p. 1–6, 2016.

CENSO AGRO. **Censo soja grão**. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>.

CHRISTINE H., F.; GRAHAM, N. Oxygen processing in photosynthesis : regulation and signalling. **New Phytologist**, v. 146, n. 112, p. 359–388, 2000.

COLLINS, R. M. et al. Differential proteômica analysis of Arabidopsis thaliana genotypes exhibiting resistance or susceptibility to the insect herbivore, Plutella xylostella. **Plus One**, v. 5, n. 4, 2010.

CREELMAN, R. A.; MULLET, J. E. Biosynthesis and Action of Jasmonates in Plants.

Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, v. 48, n. 1, p. 355–381, 1997.

DAI, L. Y. et al. Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 77, n. 2, p. 118–125, 2017.

DE BORTOLI, S. A. et al. Herbivoria em soja: Efeito na composição química das folhas e na biologia da lagarta da soja e do percevejo verde pequeno. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 3, p. 192–198, 2012.

DEUNER, C. et al. Ácido Jasmônico Como Promotor De Resistência Em Plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 275–281, 2015.

DU, Z.; BRAMLAGE, W. J. Modified Thiobarbituric Acid Assay for Measuring Lipid Oxidation in Sugar-Rich Plant Tissue Extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 9, p. 1566–1570, 1992.

FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. Jasmonates: Mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, n. April, p. 101210, 2019.

FARMER, E. E.; ALMÉRAS, E.; KRISHNAMURTHY, V. Jasmonates and related oxylipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. **Current opinion in plant biology**, v. 6, n. 4, p. 372–8, 2003.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for sustainable Development**, p. 185–212, 2009.

FERREIRA, L. A. et al. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 80–89, 2007.

FIDELIS, R. R. et al. Alguns Aspectos do Plantio Direto para a Cultura da Soja. **Bioscience journal**, v. 19, n. 1, p. 23–31, 2003.

FRANCESCHI, V. R.; GRIMES, H. D. Induction of soybean vegetative storage proteins and anthocyanins by low-level atmospheric methyl jasmonate. **Plant biology**, v. 88, p. 6745–6749, 1991.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16–18, 2018.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; NIKPOUR-RASHIDABAD, N. Seed pretreatment and salt tolerance of dill: Osmolyte accumulation, antioxidant enzymes activities and essence production. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 12, p. 30–35, 2017.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases. **Plant Physiology**, v. 59, p. 315–318, 1977.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987.

HIRAKURI, M.; LAZZAROTTO, J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Documentos EMBRAPA, Soja**, v. 349, n. 2176.2937, p. 37, 2014.

HOFFMANN-CAMPO, C. et al. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. **Circular Técnica - EMBRAPA Soja (Brazil)**, p. 70, 2000.

HOLOPAINEN, J. K.; GERSHENZON, J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 3, p. 176–184, 2010.

HUANG, H. et al. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses.

Frontiers in Plant Science, v. 10, n. June, p. 1–10, 2019.

IMEA. **Boletim Semanal Da Soja, nº 382**. Disponível em:

<http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R404_2015_12_04_BSSOJA.pdf>.

JAITI, F.; VERDEIL, J. L.; EL HADRAMI, I. Effect of jasmonic acid on the induction of polyphenoloxidase and peroxidase activities in relation to date palm resistance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 74, n. 1, p. 84–90, 2009.

JANEGITZ, T. **Efeitos de cis-jasmone na indução de compostos fenólicos em genótipos de soja, inoculados ou não com *Meloidogyne javanica***. [s.l.] Universidade Estadual de Maringá, 2012.

JOHNSON, R.; PUTHUR, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 247–257, maio 2021.

KALAIVANI, K.; MARUTHI-KALAISELVI, M.; SENTHIL-NATHAN, S. Seed treatment and foliar application of methyl salicylate (MeSA) as a defense mechanism in rice plants against the pathogenic bacterium, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 171, n. September, p. 104718, 2020.

KAZAN, K. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 4, p. 219–229, 2015.

KERAMAT, B.; KALANTARI, K. M.; ARVIN, M. J. Effects of methyl jasmonate in regulating cadmium induced oxidative stress in soybean plant (*Glycine max* L.). **African Journal of Microbiology Research**, v. 3, n. 5, p. 240–244, 2009.

KRAUS, E. C.; STOUT, M. J. Seed treatment using methyl jasmonate induces resistance to rice water weevil but reduces plant growth in rice. **PLoS ONE**, v. 14, n. 9, p. 1–17, 2019.

KRÓL, P. et al. Priming of seeds with methyl jasmonate induced resistance to hemi-biotroph *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* in tomato via 12-oxo-phytodienoic acid, salicylic acid, and flavonol accumulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 179, p. 122–132, 2015.

LAREDO ALCALÁ, E. I. et al. Aplicación de ácido jasmónico como inductor de resistencia vegetal frente a patógenos. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 8, n. 3, p. 673, 2017.

- LAUXEN, L. R.; VILLELA, F. A.; SOARES, R. C. Desempenho fisiológico de sementes de algodoeiro tratadas com tiametoxam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 61–68, 2010.
- LEÓN, J.; ROJO, E.; SÁNCHEZ-SERRANO, J. J. Wound signalling in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 354, p. 1–9, 2001.
- LERUD, R. M. et al. Optimizing the performance of a commercial electrochemical ethylene sensor via controlled ethylene generation in situ. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 281, p. 535–541, 2019.
- LIMA, F. Z. DE et al. Efeito do estresse de luz e água na eficiência do uso da radiação solar pela cultura da soja (*Glycine max* (L .) Merrill) Effect of light and water stress on radiation use efficiency of soybean (*Glycine max* (L .) Merrill) crop. p. 1–7, 2004.
- LIN, Z.; ZHONG, S.; GRIERSON, D. Recent advances in ethylene research. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 12, p. 3311–3336, 2009.
- LOPES, A. P. S. et al. Defesas induzidas por herbivoria e interações específicas no sistema tritrófico soja-percevejos-parasitoides de ovos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 875–878, 2012.
- LORETO, F.; SCHNITZLER, J. P. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 3, p. 154–166, 2010.
- MACEDO, M. C. DE et al. Produção de ipê-branco em diferentes substratos. **CERNE**, v. 17, p. 95–102, 2011.
- MACHADO, C. F. et al. Metodologia para a Condução do Teste de Germinação em Sementes de Ipê-Amarelo. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 17–25, 2002.
- MARÍN-LOAIZA, J. C.; CÉSPEDES, C. L. Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 30, n. 4, p. 327–351, 2007.
- MARTÍNEZ, M. et al. Resistencia y tolerancia a estrés abiótico: Mecanismos sofisticados de adaptación de las plantas ante distintas condiciones de estrés. **Frontera Biotecnológica**, v. 5, p. 21–25, 2018.
- MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D. DE. Tratamento de sementes: histórico, tipos,

características e benefícios. **Informativo Abrates**[S.l: s.n.], v. 20, p. 52;53, 2010.

MEWIS, I. Major Signaling Pathways Modulate Arabidopsis Glucosinolate Accumulation and Response to Both Phloem-Feeding and Chewing Insects. **Plant Physiology**, v. 138, n. 2, p. 1149–1162, 2005.

MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 4, p. 453–467, 2010.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 9, p. 405–410, 2002.

MITTLER, R. et al. ROS signaling: The new wave? **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 6, p. 300–309, 2011.

MORAVCOVÁ, Š. et al. Influence of salicylic acid pretreatment on seeds germination and some defence mechanisms of *Zea mays* plants under copper stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 122, p. 19–30, 2018.

MORGAN, P. W.; DREW, M. C. Ethylene and plant responses to stress. **Physiologia Plantarum**, v. 100, n. 3, p. 620–630, 1997.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867–880, 1981.

O'DONNELL, P. J. et al. Ethylene as a Signal Mediating the Wound Response of Tomato Plants. **Science**, v. 274, p. 1914–1916, 1996.

OLIVEIRA, T. B. **Influência Do Jasmonato De Metila E Do Tween 20 Na Fisiologia E Na Severidade Da Ferrugem Asiática Na Soja**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2014.

OMER, A. D. et al. Chemically-induced resistance against multiple pests in cotton. **International Journal of Pest Management**, v. 47, n. 1, p. 49–54, 2001.

PINHEIRO, D. **A ação dos voláteis induzidos por herbivoria na comunicação entre plantas: *Croton floribundus* Spreng como espécie modelo**. [s.l.] Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2017.

PINHEIRO, R. DE A. et al. Efeito de preparados homeopáticos no vigor de sementes e desenvolvimento de plântulas de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 81–90, 2019.

PINTO-ZEVALLOS, D. M. et al. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013.

PROJETO SOJA BRASIL. **Replântio Assombra Sojicultura De Mato Grosso**. Disponível em: <<<http://www.projetosojabrasil.com.br/replântio-assombra-sojicultura-de-mato-grosso/>>>.

PYNGROPE, S.; BHOOMIKA, K.; DUBEY, R. S. Reactive oxygen species, ascorbate–glutathione pool, and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. **Protoplasma**, v. 250, n. 2, p. 585–600, 28 abr. 2013.

RIFFEL, A.; COSTA, J. G. DA. **Os Voláteis de Plantas e o seu Potencial para a Agricultura**. 1^a. ed. Aracaju: [s.n.].

RODRIGUEZ-SAONA, C. et al. Exogenous methyl jasmonate induces volatile emissions in cotton plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 27, n. 4, p. 679–695, 2001.

ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Horticultural applications of jasmonates: A review. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 3, p. 283–304, 2008.

ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Spider mites (*Tetranychus urticae*) perform poorly on and disperse from plants exposed to methyl jasmonate. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 2, p. 143–152, 2010.

ROSA, V. D. R. **Alterações fisiológicas induzidas pelo déficit hídrico no estádio reprodutivo da soja com reflexo sobre a produtividade**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ROSÁRIO, V. DO et al. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, n. January 2020, p. 228–243, 2021.

RYAN, C. A. The systemin signaling pathway: Differential activation of plant defensive genes. **Biochimica et Biophysica Acta - Protein Structure and Molecular Enzymology**, v. 1477, n. 1-2, p. 112–121, 2000.

SANCHES, P. A. et al. Direct and indirect resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis* induced by jasmonic acid. **Bulletin of Entomological Research**, p. 1–11, 2017.

- SÁNCHEZ, F. Jasmonatos: compuestos de alto valor para la agricultura. Parte I. Actividad biológica y ruta biosintética del ácido jasmónico en plantas. v. XLII, n. 1-3, p. 51–59, 2008.
- SCHRÖDER, R. et al. Reduction of ethylene emission from Scots pine elicited by insect egg secretion. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 7, p. 1835–1842, 2007.
- SHETEIWY, M. S. et al. Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. **Environmental and Experimental Botany**, v. 153, p. 236–248, 2018.
- SHI, J. et al. Overexpression of ARGOS genes modifies plant sensitivity to ethylene, leading to improved drought tolerance in both arabidopsis and maize. **Plant Physiology**, v. 169, n. 1, p. 266–282, 2015.
- SILVA, E. N. et al. Coordinate changes in photosynthesis, sugar accumulation and antioxidative enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 45, p. 270–279, out. 2012.
- SILVA, N. C. Q. et al. Salt stress inhibits germination of *Stylosanthes humilis* seeds through abscisic acid accumulation and associated changes in ethylene production. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 130, p. 399–407, 2018.
- SILVA-SOARES, S. DA. **Emergência e desenvolvimento de chrysanthemum carinatum L. (asteraceae/compositae) em regime diferencial de luz e com simulação de herbivoria Uberlândia-MG.** [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- SMIRNOFF, N. (ED.). **Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants.** John Wiley ed. [s.l: s.n.].
- SOBEIH, W. Y. et al. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2353–2363, 2004.
- SOUZA, B. L. DE et al. Influência do etileno na germinação de sementes de rabanete. v. 2, p. 5190–5196, 2011.
- SOUZA, J. P. M. DE. **Germinação e desenvolvimento de soja, *Glycine max* (L.) Merr. (Fabaceae), cultivar BR 11, em regime diferencial de luz e com simulação de herbivoria.** Uberlândia-MG: [s.n.]. Disponível em: <<https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298>>.

- TEIXEIRA, J. P. F. Comunicação entre plantas como estratégia de defesa*. **Instituto Agrônômico, Centro de Recursos Genéticos Vegetais**, n. September, p. 1–20, 2016.
- TIAN, S. et al. Plant Aquaporin AtPIP1;4 Links Apoplastic H₂O₂ Induction to Disease Immunity Pathways. **Plant Physiology**, v. 171, n. 3, p. 1635–1650, jul. 2016.
- TORRIGIANI, P. et al. Differential expression of allene oxide synthase (AOS), and jasmonate relationship with ethylene biosynthesis in seed and mesocarp of developing peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, n. 1, p. 67–73, 2012.
- VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 5, p. 59–66, 2000.
- WALLING, L. L. The myriad plant responses to herbivores. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 19, n. 2, p. 195–216, 2000.
- WANG, S. Y. Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 18, n. 3, p. 127–134, 1999.
- WATERMAN, J. M. et al. Simulated Herbivory: The Key to Disentangling Plant Defence Responses. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 34, n. 5, p. 447–458, 2019.
- XING, X. HUA et al. Improved drought tolerance by α -naphthaleneacetic acid-induced ROS accumulation in two soybean cultivars. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 8, p. 1770–1784, 2016.
- YOON, J. Y. et al. Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 12, n. 2, p. 63–68, 2009.
- ZALEWSKI, K. et al. The influence of exogenous methyl jasmonate on the germination and, content and composition of flavonoids in extracts from seedlings of yellow and narrow-leafed lupine. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 87, n. 103398, p. 1–7, 2020.
- ZHU, Z.; LEE, B. Friends or foes: New insights in jasmonate and ethylene co-actions. **Plant and Cell Physiology**, v. 56, n. 3, p. 414–420, 2015.

1 **PARTE 2: ARTIGO (versão preliminar) “Artigo elaborado de acordo NBR 6022 (ABNT,**
2 **2018)”**.

3 **Interação entre o metil jasmonato e etileno em sementes e plântulas de soja (*Glycine max***
4 **(L.) Merr.) sob condições de estresse hídrico e simulação de herbivoria**

5 Vivian Andrea Coy Rodriguez¹, Ana Maria Oliveira Ferreira², Elisa Monteze Bicalho³, Marlon
6 Enrique Lopez².

7 **RESUMO**

8 Alterações ambientais como déficit hídrico e herbivoria, podem causar significativas perdas no
9 setor agrícola do Brasil, especificamente em soja, uma das culturas agrícolas mais importantes para
10 sua economia. O metil jasmonato (MeJA) é produzido pelas plantas em situações de estresse
11 biótico e abiótico, e que induzem a sínteses de outros hormônios, como o etileno, preparando as
12 plantas para situações adversas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a liberação de etileno em
13 sementes tratadas diferentes concentrações de MeJA, e em plântulas de soja de estágio vegetativo
14 V1 provenientes de sementes tratadas com MeJA. Avaliou-se também a atividade de enzimas
15 antioxidantes, H₂O₂, MDA e crescimento sob condição de déficit hídrico e simulação de herbivoria.
16 O MeJA utilizado como pré-tratamento em sementes de soja, induziu a liberação de etileno tanto
17 na germinação como no estabelecimento de plântulas sobre condição de herbivoria. Assim como
18 promoveu maiores teores de H₂O₂ e MDA para as plântulas submetidas a condição de déficit
19 hídrico. Entretanto, a condição déficit hídrico provocou menor crescimento de caule e raiz, assim
20 como de massa seca de raiz e número de folhas. Conclui-se que o MeJa foi eficiente na indução de

¹ Mestranda Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Lavras – E-mail: vivicoy29@gmail.com

² Doutorando(a) em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Lavras

³ Professora-Orientadora. Dr.^a em Biologia Vegetal. Docente na Universidade Federal de Lavras

21 liberação de etileno, mas não preveniu maiores danos por estresse oxidativo nas plantas sob
22 estresse.

23 **Palavras-chave:** jasmonatos, déficit hídrico, herbivoria, enzimas antioxidantes, estresse oxidativo.

24 1. INTRODUÇÃO

25 O Brasil é o segundo produtor mundial de soja, com uma produtividade aproximadamente
26 de 121.5 milhões de toneladas por ano, responsável por 48% da produção total de grãos no país
27 (CENSO AGRO, 2020). Entretanto, a cultura tem apresentado perdas devido ao déficit hídrico
28 resultante de chuvas escassas e outros efeitos, como o ataque de pragas e doenças (PROJETO SOJA
29 BRASIL, 2016).

30 Os principais insetos praga que acometem a cultura, destacam-se lagartas desfolhadoras,
31 *Anticarsia gemmatalis* Hub., e *Pseudoplusia includens* Wal., de ordem Lepidoptera, que reduzem
32 drasticamente a área foliar das plantas em campo (DE BORTOLI et al., 2012). Na herbivoria,
33 quando uma planta é atacada são ativadas as rotas de sinalização do metabolismo primário e
34 secundário, como resposta de defesa da planta são produzidos compostos químicos voláteis
35 (COVs). Além de seu papel na proteção, estes compostos podem ser detectados por plantas
36 vizinhas, e dessa forma ser alertadas (MARÍN-LOAIZA; CÉSPEDES, 2007; RIFFEL; COSTA,
37 2015). A herbivoria pode induzir alta taxa de produção de EROs ocasionando assim alterações na
38 expressão de proteínas (COLLINS et al., 2010). A oxidação de proteínas pelas EROs ativa fatores
39 de transcrição EROs-responsivos desencadeando a biossíntese do JA (BALDWIN, 2010)

40 O déficit hídrico é uma condição ambiental estressante que também é responsável por
41 reduzir a produtividade de soja. O déficit hídrico pode resultar em estresse hídrico, e pode ser
42 classificado como leve, moderado e severo (ROSA, 2017). O estresse hídrico pode levar a indução

43 de mecanismos de resposta de tolerância; na fase de germinação e estabelecimento inicial, alguns
44 desses mecanismos levam ao acúmulo de moléculas específicas, metabolização de EROs, ajustes
45 estruturais ao nível celular, ajustes no sistema de membranas, modificações na arquitetura da
46 parede e mudanças na divisão celular (FAROOQ et al., 2009). Aliás, em plantas sob déficit hídrico
47 o acúmulo de EROs e o consequente estresse oxidativo pode provocar que as reações fotoquímicas
48 da fotossíntese gerem maiores níveis de EROs, como o H_2O_2 , $O_2^{\cdot-}$, HO^{\bullet} e o oxigênio singlete 1O_2 ,
49 dessa forma causar um estresse oxidativo através da oxidação de proteínas, moléculas de RNA,
50 DNA, lipídeos e pigmentos fotossintéticos, além de induzir a ativação da morte celular programada
51 (PYNGROPE; BHOOMIKA; DUBEY, 2013; SILVA et al., 2012). O estresse hídrico pode levar
52 não somente à produção de metabólitos envolvidos na proteção antioxidante, como também à
53 síntese e sinalização por etileno e outros compostos voláteis (AVRAMOVA et al., 2015).

54 Atualmente na agricultura procura-se uma forma de atenuar os danos causados pelo déficit
55 hídrico e herbivoria nas plantas, buscando inovações menos agressivas ao meio ambiente e à saúde
56 humana (TEIXEIRA, 2016). Podem ser utilizados pré-tratamentos com fitormônios e outros
57 componentes em sementes como forma de indução de tolerância cruzada em plântulas
58 (GHASSEMI-GOLEZANI; NIKPOUR-RASHIDABAD, 2017; KALAIVANI; MARUTHI-
59 KALAISELVI; SENTHIL-NATHAN, 2020; MORAVCOVÁ et al., 2018). Relata-se que aplicação
60 exógena de jasmonatos (JAs) em uma ampla variedade de plantas de interesse agrônômico,
61 estimula a tolerância e resistência frente a estresses abióticos e bióticos respectivamente
62 (FARMER; ALMÉRAS; KRISHNAMURTHY, 2003; JAITI; VERDEIL; EL HADRAMI, 2009;
63 RODRIGUEZ-SAONA et al., 2001; ROHWER; ERWIN, 2008, 2010; RYAN, 2000). A aplicação
64 de JA em sementes, tem resultado em melhoras no cultivo sob situações ambientais adversas
65 (FARHANGI-ABRIZ; GHASSEMI-GOLEZANI, 2019).

66 Embora existam trabalhos que relatem a aplicação de JAs em soja para induzir uma defesa
67 frente a condições bióticas ou abióticas estressantes (ANDERSON, 1991; FRANCESCHI;
68 GRIMES, 1991; JANEGITZ, 2012; KAZAN, 2015; OLIVEIRA, 2014; YOON et al., 2009), são
69 poucos os trabalhos que comparam a resposta da aplicação deste fitormônio frente a um estresse
70 biótico com um estresse abiótico, e principalmente utilizando pré-tratamento em sementes. Diante
71 do exposto, a hipótese deste trabalho é que plântulas de soja de estágio vegetativo V1, provenientes
72 de sementes tratadas com Metil Jasmonato (MeJA), evidenciam maior liberação de etileno e maior
73 atividade de enzimas antioxidantes, H_2O_2 , MDA, quando são submetidas a déficit hídrico e
74 simulação de herbivoria. Dessa forma, objetivou-se avaliar a liberação de etileno em sementes de
75 soja tratadas com diferentes concentrações de MeJA, e em plântulas de soja de estágio vegetativo
76 V1 provenientes de sementes tratadas com MeJA, sob condição de déficit hídrico e simulação de
77 herbivoria, além do crescimento, da atividade de enzimas antioxidantes, H_2O_2 , MDA.

78 **2. MATERIAL E METODOS**

79 **2.1 Material vegetal**

80 Para o desenvolvimento do experimento foram utilizadas sementes de soja, variedade
81 Monsoy 6410, colhidas em 2019, e cedidas pelo Setor de Sementes do Departamento de Fitotecnia
82 da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

83 **2.2 Condução do experimento**

84 O ensaio de germinação foi conduzido no Laboratório de Crescimento e Desenvolvimento
85 de Plantas, e o ensaio de exposição aos estresses em estágio de plântulas, foi conduzido em casa
86 de vegetação, ambos no Setor de Fisiologia Vegetal da UFLA.

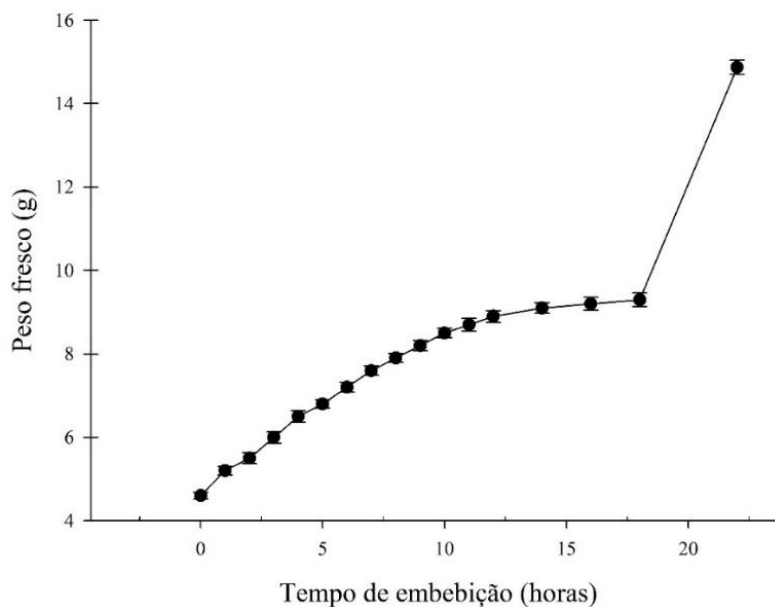
87 **2.3 Curva de embebição em sementes de soja**

88 Foi determinado o padrão trifásico de absorção de água através da curva de embebição de
89 sementes de soja. Para isso utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com cinco
90 repetições de 25 sementes cada. As sementes foram desinfestadas com uma solução 1% hipoclorito
91 de sódio (NaClO) durante 5 minutos, seguido de três lavagens em água deionizada. As sementes
92 foram então colocadas em caixas tipo gerbox com dupla camada de papel germitest umedecido
93 com um volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Determinou-
94 se a curva de embebição das sementes pela pesagem em intervalos regulares de tempo de uma hora,
95 durante doze horas, posteriormente foram feitas pesagens a cada duas horas, e por fim, pesagens a
96 cada quatro horas (figura 1). As sementes eram retiradas das caixas, retirado o excesso de umidade
97 com papel toalha, colocadas em placas de Petri e imediatamente pesadas em balança analítica.
98 (BRASIL, 2009).

99 **2.4 Preparo da solução estoque de metil jasmonato (MeJa)**

100 Foi preparada uma solução estoque de MeJa (Sigma-Aldrich®. Methyl jasmonate392707-25ML)
101 a 1 mM e todo o preparo tanto da solução estoque quanto das diluições foi realizado no escuro.
102 Partindo da solução estoque, foram preparadas as soluções de MeJA por diluição nas concentrações
103 de 12,5 µM, 25 µM, 50 µM, 100 µM, 200 µM.

104 **Figura 1.** Curva de embebição de sementes de soja (Glicine max var. Monsoy 6410). Os pontos
105 representam a média ± erro padrão de cinco repetições de 25 sementes.



106

107

Fonte: da Autora (2021).

108

2.5 Exposição das sementes aos tratamentos de MeJA

109

Sementes de soja foram separadas e desinfestadas em uma solução de 1% de NaCl durante 5

110

minutos, e lavadas três vezes com água deionizada. Em seguida, foram colocadas para embeber em

111

seis diferentes concentrações (tratamentos) de MeJA: 12,5 μM , 25 μM , 50 μM , 100 μM , 200 μM ,

112

e como controle água deionizada. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com cinco

113

repetições de 25 sementes para cada tratamento. As sementes foram colocadas em tubos Falcon de

114

50 mL no escuro em agitação constante, com 10 mL de cada solução por repetição, durante 18

115

horas (finalização da fase II segundo a curva de embebição). Em seguida, as sementes foram

116

retiradas da solução, realizou-se três lavagens com água deionizada, e foram colocadas para

117

germinar em caixas do tipo Gerbox, contendo uma dupla camada de papel germitest umedecido

118

com água deionizada. O experimento foi conduzido em câmara de germinação a 25 °C, sob

119

fotoperíodo de 12 h de luz ($40\mu\text{mol}$ s de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e 12 h de escuro (Brasil, 2009).

120 **2.5.1 Variáveis avaliadas**

121 Durante cinco dias foi avaliada a germinação, através da contagem de sementes com emergência
122 da radícula cada dia, determinando a porcentagem de germinação (%), curva de germinação
123 acumulada, índice de velocidade de germinação (IVG, Maguire, 1962) e tempo para germinação
124 de 50% das sementes (T50, Coolbear et al., 1984). Os dados de germinação (os que não
125 apresentaram distribuição normal), em porcentagem, foram transformados em arco seno $\sqrt{\frac{x}{100}}$. As
126 médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, usando o
127 programa RBio e a apresentação dos resultados foi através do programa gráfico SigmaPlot
128 (MACHADO et al., 2002).

129 **2.6 Caracterização da liberação de etileno durante a germinação de sementes de soja** 130 **tratadas com MeJA**

131 Foi quantificado o etileno liberado pelas sementes durante cinco fases, seguindo a caracterização
132 da curva de embebição (figura 1) fase I: hora 0 (sementes secas), fase II; hora 6 (metade da primeira
133 fase de embebição), fase III: hora 12 (finalização da primeira fase de embebição), fase IV: hora 18
134 (finalização da embebição), fase V: hora 24 (sementes germinadas) tratadas com as concentrações
135 determinadas (tratamentos) de MeJA (12,5 µM, 25 µM, 50 µM, 100 µM, 200 µM), como controle
136 água deionizada. O experimento foi delimitado por 6 tratamentos e cinco repetições (cada repetição
137 constituída por 24 sementes distribuídas em três tubos de ensaio), em cada uma das fases. Em cada
138 tubo de ensaio foram inseridos 5 mL da solução por tratamento (um total de 15 mL da solução por
139 repetição). Posterior ao tempo de incubação de cada fase, com auxílio de uma agulha foram
140 coletados de cada tubo 3 mL do gás presente, somando um total de 9 mL do gás por repetição. O
141 volume de cada repetição foi injetado no sensor de etileno CI-900 portátil marca Bio-Science, para

142 quantificação, seguindo a metodologia de LERUD *et al.*, (2019) adaptada para os tempos de
143 incubação e a quantidade de gás coletada em cada tubo neste trabalho.

144 O ensaio foi conduzido em arranjo fatorial 5x5 (5 fases da germinação x 5 concentrações de MeJA).
145 As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, usando
146 o programa RBio e a apresentação dos resultados foi através do programa gráfico SigmaPlot
147 (MACHADO *et al.*, 2002).

148 **2.7 Cultivo de plântulas de soja sob condições estressantes: efeitos do déficit hídrico e da** 149 **simulação da herbivoria**

150 Segundo os resultados obtidos previamente nas variáveis germinativas e liberação de etileno, na
151 fase de sementes, foi escolhida a concentração de 12.5 μM de MeJA para pré-tratamento das
152 sementes de soja neste ensaio. Sementes recém-germinadas tratadas com 12.5 μM de MeJA e não
153 tratadas (controle) foram acondicionadas em vasos de polietileno de 0.5 L preenchidos com
154 substrato de solo e areia na proporção de 2:1 (MACEDO *et al.*, 2011), e colocadas em casa de
155 vegetação do setor de Fisiologia, Universidade Federal de Lavras.

156 O experimento foi delineado em fatorial 2 (pré-tratamento de sementes) x 3 (controle, déficit
157 hídrico e simulação de herbivoria), com oito repetições por tratamento, sendo considerada uma
158 repetição cada vaso com cinco plântulas.

159 **2.7.1 Imposição do déficit hídrico**

160 Para conseguir determinar a capacidade de campo a ser utilizada no experimento, foi realizado um
161 pré-teste. Consistiu em, após o estabelecimento do primeiro par de folhas (estádio vegetativo V1),
162 as plântulas provenientes de sementes tratadas com MeJA, foram colocadas em substrato a quatro
163 capacidades de campo diferentes (tratamentos): tratamento 1: 20%; tratamento 2: 40%; tratamento

164 3: 60%; tratamento controle: 80% da capacidade de campo. As porcentagens de umidade foram
165 atingidas com restrição de rega e pesagem de cada um dos vasos por meio de uma curva padrão.
166 Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições por cada tratamento, com
167 5 plântulas por repetição.

168 As variáveis avaliadas foram massa fresca, comprimento de caule e raiz e teor relativo de água
169 (TRA). Para obtenção do TRA, seis discos foliares de 5 mm de diâmetro foram coletados de folhas
170 completamente expandidas, foram pesados e colocados por doze horas em placas de Petri com água
171 destilada para saturação em temperatura ambiente. Em seguida, os discos foram novamente
172 pesados e colocados para secar à 70°C por 72 horas, para obtenção do peso seco (Turner, 1981). O
173 TRA foi obtido a partir da seguinte fórmula: $TRA = (Massa Fresca - Massa Seca / Massa Túrgida$
174 $- Massa Seca) \times 100$.

175 Uma vez determinada a condição déficit hídrico moderado, as sementes germinadas e previamente
176 tratadas com a concentração 12,5 µM de MeJA e o controle, foram imediatamente colocadas em
177 substrato (solo: areia proporção 2:1) sob condição de déficit hídrico moderado (40% de retenção
178 de umidade do substrato) e o peso dos vasos foi monitorado uma vez ao dia para alcançar o peso
179 referente ao nível escolhido. O tempo de exposição na condição de déficit hídrico foi de nove dias
180 em casa de vegetação.

181 Após atingir o estágio vegetativo V1 (folhas completamente expandidas), as plântulas foram
182 retiradas do substrato para lavagem e secagem das raízes. Em seguida, foram retiradas duas
183 plântulas de cada repetição e as folhas cotiledonares separadas acondicionadas em tubos de ensaio
184 de 10 mL. Estes foram tampados com tampa de pressão e incubados durante 48 horas a temperatura
185 de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 h de luz e 12 h de escuro. Posteriormente foram levadas para
186 determinar a quantidade de etileno liberada durante esse tempo, com sensor de etileno.

187 **2.7.2 Condição simulação de herbivoria**

188 Ao atingir o estágio vegetativo V1 (folhas completamente expandidas), as plântulas provenientes
189 de sementes previamente tratadas com a concentração 12,5 µM de MeJA e não tratadas (controle)
190 foram colocadas em condição de simulação de herbivoria. Este processo consistiu em retirar com
191 ajuda de uma tesoura, o equivalente a 40% do comprimento na folha, de cada folíolo, partindo do
192 ápice (através da medição desde a união do pecíolo com a nervura central, até o ápice) equivalente
193 à remoção realizada pelo ataque de uma das espécies de lagarta da cultura da soja (SILVA-
194 SOARES, 2018; WATERMAN et al., 2019). Após completar 24 h desde colocadas na condição
195 estressante, para completar o ciclo de um dia com os processos vegetais, as plântulas foram
196 retiradas do substrato, lavadas e secas superficialmente. Foram retiradas duas plântulas, cujo par
197 de folhas previamente cortado, as folhas foram colocadas em tubos de ensaio de 10 mL e colocadas
198 em incubação durante 24 horas, posteriormente foi feita a quantificação da emissão de etileno,
199 conforme descrito anteriormente.

200 **2.7.3 Variáveis avaliadas**

201 Avaliações de crescimento: O comprimento da raiz e altura das plantas, foram mensurados com
202 uma régua e foi contado o número de folhas. A massa seca de raiz e parte aérea (caule e folhas)
203 foram obtidas de amostras secas em estufa de ventilação forçada a 75°C durante 72 horas
204 (PINHEIRO et al., 2019).

205 Quantificação da liberação de etileno com sensor de etileno CI-900 portátil: Posterior ao tempo de
206 incubação em cada tratamento, com auxílio de uma agulha foram coletados de cada tubo 3 mL do
207 gás presente, somando um total de 9 mL do gás por repetição. O volume de cada repetição foi
208 injetado no sensor de etileno CI-900 portátil marca Bio-Science, para quantificação, seguindo a

209 metodologia de LERUD *et al.*, (2019) adaptada para os tempos de incubação e a quantidade de gás
210 coletada em cada tubo neste trabalho.

211 Avaliações bioquímicas: As plântulas coletadas em estágio V1 foram congeladas em nitrogênio
212 líquido e armazenadas em freezer a - 80° C até as análises bioquímicas. Para as enzimas do
213 metabolismo antioxidante o extrato enzimático foi obtido pela maceração em nitrogênio líquido de
214 200 mg de material fresco de plântulas, às quais foram adicionados 1,5 mL do tampão de extração
215 contendo: 375 µL de tampão fosfato de potássio 400 mM (pH 7,8), 15 µL de EDTA 10 m, 75 µL
216 de ácido ascórbico 200 mM, e 1035 µL de água. O extrato foi centrifugado a 13.000 g por 10
217 minutos a 4°C e o sobrenadante coletado e armazenado a - 20° C durante o período das análises.
218 Os sobrenadantes coletados foram utilizados nas análises enzimáticas da superóxido dismutase
219 (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (BIEMELT; KEETMAN; ALBRECHT,
220 1998). A atividade da SOD foi avaliada seguindo a metodologia descrita por GIANNOPOLITIS;
221 RIES, (1977). A atividade da enzima CAT foi avaliada, seguindo a metodologia de HAVIR;
222 MCHALE, (1987). A atividade da APX foi determinada NAKANO; ASADA, (1981).

223 Para o Peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 400 mg de plântulas foram maceradas em nitrogênio líquido
224 com polivinil polipirrolidona (PVPP), homogeneizados em 1,5 mL de ácido tricloroacético (TCA)
225 0,1% (m/v) e centrifugados a 12.000 g por 15 minutos, a 4°C. O H₂O₂ foi determinado medindo-
226 se a absorbância a 390 nm em um meio de reação, contendo 45 µL tampão fosfato de potássio 10
227 mM, pH 7,0, 45 µL do extrato e 90 µL de iodeto de potássio 1M (VELIKOVA; YORDANOV;
228 EDREVA, 2000). A quantificação foi realizada, com base na curva padrão de peróxido de
229 hidrogênio, com concentrações conhecidas.

230 A peroxidação lipídica foi determinada, conforme descrito por DU; BRAMLAGE, (1992). 0.1 g
231 de plântulas foram macerados em nitrogênio líquido. Foram realizadas três extrações sequenciais

232 utilizando 1 mL do meio de extração (etanol 80% + 0,01% hidroxitolueno butilado (BHT)),
233 centrifugado por 10 minutos a 10.000 g a 4°C, totalizando 3mL de extrato. Em seguida, o extrato
234 foi colocado para reagir com solução de TCA 20% TBA 0,65% e BHT 0,01% por 25 minutos a
235 95°C em banho termostático. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo por 10
236 minutos, e as leituras foram determinadas em espectrofotômetro, a 400 nm, 532 nm e 600 nm.

237 Os dados obtidos em cada um das variáveis avaliadas foram submetidos a análise de variância
238 (ANOVA), sendo posteriormente aplicado o teste de médias Tukey, a 5% de probabilidade, usando
239 o programa RBio e a apresentação dos resultados foi através do programa gráfico SigmaPlot
240 (MACHADO et al., 2002).

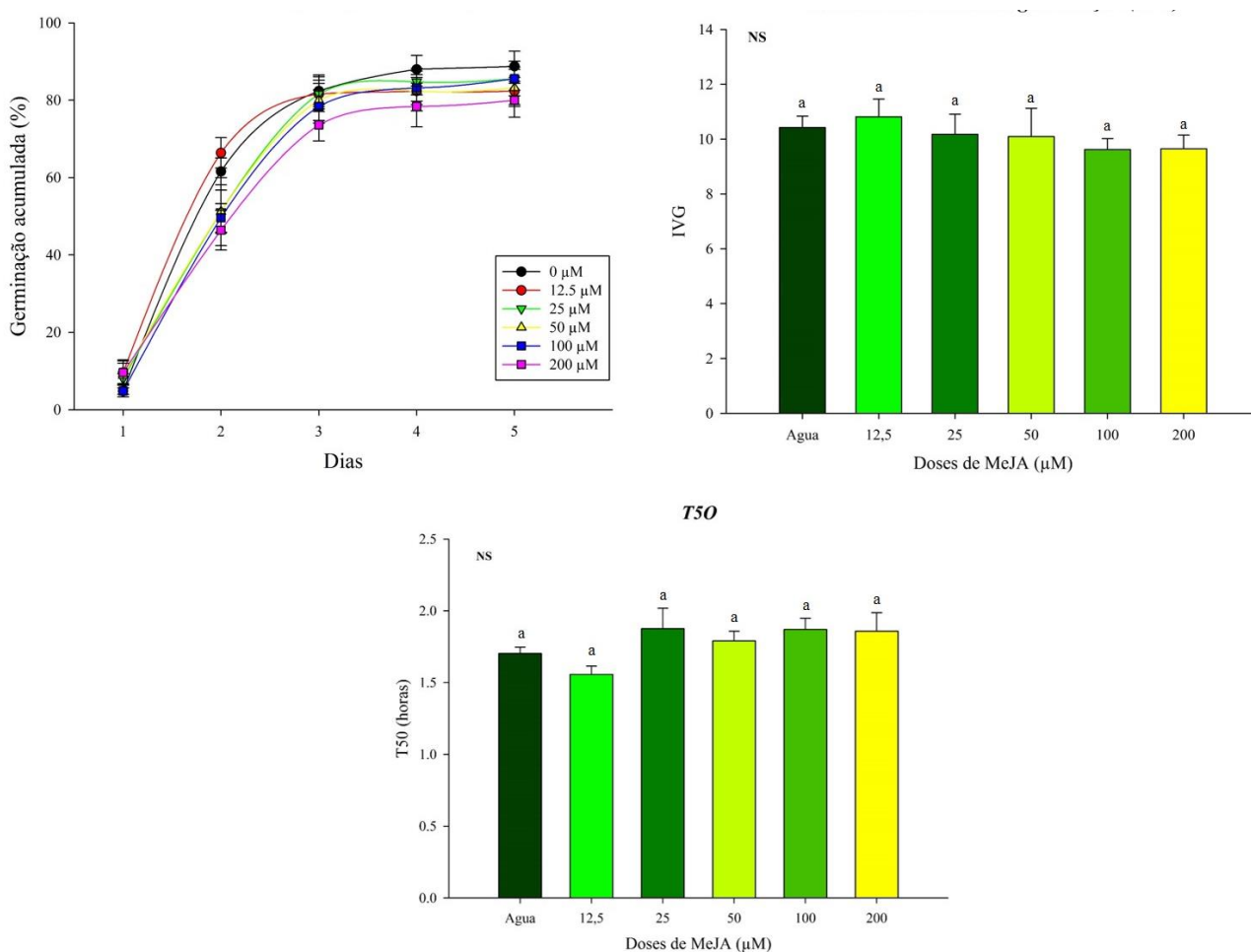
241 **3. RESULTADOS E DISCUSÃO**

242 **3.1 Germinação e liberação de etileno em sementes de soja tratadas com MeJA**

243 Foi observado em sementes tratadas com diferentes concentrações de MeJA que não houve
244 diferença significativa nas variáveis germinativas avaliadas, como germinação (%), germinação
245 acumulada, IVG e T50 (Figura 2). No entanto, verifica-se que na curva de germinação acumulada,
246 a concentração de 12,5 µM adiantou a germinação em relação às demais concentrações, sem
247 diferença significativa. Estes resultados permitiram selecionar a concentração de 12.5 µM de MeJA
248 para a seguinte etapa do experimento. As concentrações de MeJA utilizadas em soja encontradas
249 em alguns trabalhos que o utilizaram como elicitor para atenuar um tipo de estresse, variam de 10
250 µM até 30 mM. No entanto, essas variações devem-se à forma da aplicação do fitohormônio e o
251 estágio no que este foi aplicado na espécie (KERAMAT; KALANTARI; ARVIN, 2009;
252 OLIVEIRA, 2014; YOON et al., 2009). Especificamente na germinação existem trabalhos que
253 relatam a relação do JA e do MeJa com a germinação e formação de sementes, bem como sua
254 formação e resistência a estresses (DEUNER et al., 2015). Neste trabalho foi observado que a

255 exposição das sementes de soja a diferentes concentrações de MeJA, não influenciaram
 256 significativamente nas variáveis germinativas avaliadas.

257 **Figura 2.** Variáveis germinativas de sementes de soja submetidas a diferentes concentrações de
 258 MeJA (metil jasmonato). **a.** Germinação acumulada (%) de sementes de soja em diferentes
 259 concentrações de MeJA (0, 12.5, 25, 50, 100, 200 μ M). **b.** IVG. **c.** T50. Dados são médias de 5
 260 repetições, as barras indicam o erro padrão. Médias seguidas por letras iguais não diferem
 261 significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



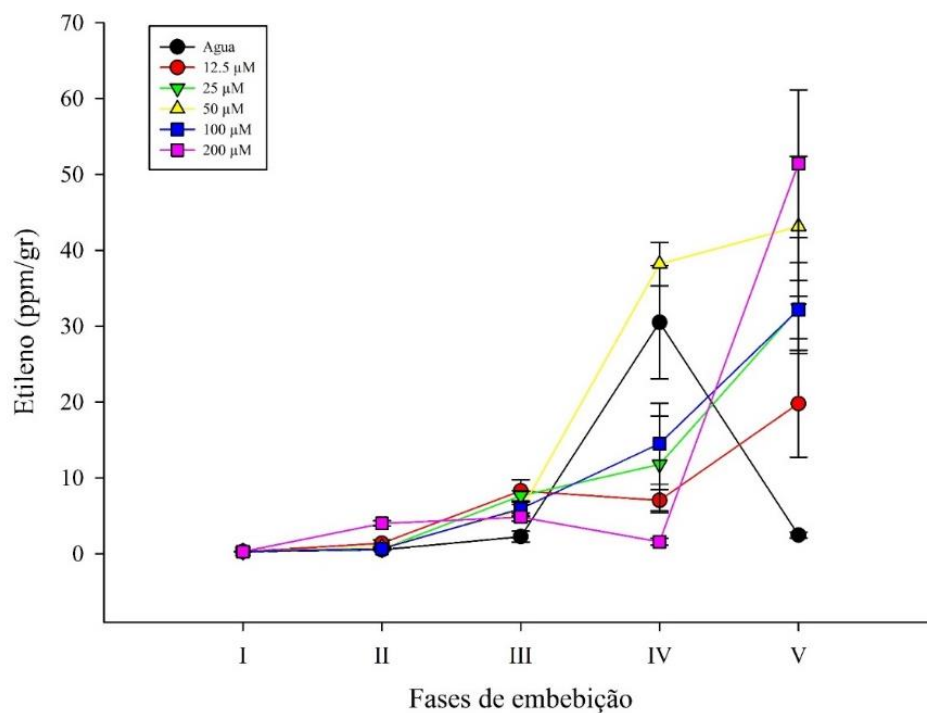
262

263

Fonte: da Autora (2021).

264 Observou-se para as sementes tratadas com MeJA que não houve diferença entres os
265 tratamentos para a variável de etileno avaliada, das fases de embebição II e III. Na fase IV, houve
266 diferença significativa no conteúdo de etileno liberado para os tratamentos 12.5 μM , 25 μM , 100
267 μM e 200 μM comparados com o controle e o tratamento 50 μM , apresentando estes últimos uma
268 maior liberação de etileno nessa fase. Finalmente na fase V, pode-se observar que as sementes
269 tratadas com todas as concentrações de MeJA produziram significativamente mais etileno em
270 comparação ao controle, no entanto as concentrações 25 μM e 100 μM tiveram uma liberação de
271 etileno similar sem diferencia significativa entre elas; a diferença das concentrações 12.5 μM e 200
272 μM que apresentaram um diferença significativa maior nos valores de etileno liberados pelas
273 sementes em relação aos outros tratamentos; da mesma forma a concentração 50 μM diferiu
274 significativamente com os tratamentos, controle, 12.5 μM e 200 μM (figura 3, tabela 1). Aplicação
275 exógena de JAs, induzem a síntese de etileno, e uma alta produção de etileno no tecido vegetal
276 desencadeia uma síntese de JAs, por sua vez, amplifica ainda mais o sinal de JAs (KAZAN, 2015;
277 O'DONNELL et al., 1996). Além é reportado que pré-tratamento de sementes de *Prunus*
278 *persica* com MeJA estimula a expressão de genes de biossíntese de etileno na semente
279 (TORRIGIANI et al., 2012).

280 **Figura 3.** Liberação de etileno (ppm/gr), durante as diferentes fases de absorção de água no
281 processo de germinação de sementes de soja



282

283

Fonte: da Autora (2021).

284 **Tabela 1.** Liberação de etileno em função das fases e tempos de embebição em sementes de soja

285 variedade Monsoy 6410 tratadas com 5 concentrações de MeJA e o controle (água deionizada).

286 Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de

287 probabilidade. Letras maiúsculas comparam as fases dentro da mesma concentração e letras

288 minúsculas comparam as concentrações dentro da mesma fase.

Trata	Fases	tukey	Trata	Fases	tukey	Trata	Fases	tukey	Trata	Fases	tukey
agua	II	aB	agua	III	aB	agua	IV	aA	agua	V	dB
12,5	II	aB	12,5	III	aAB	12,5	IV	bAB	12,5	V	cA
25	II	aB	25	III	aB	25	IV	bB	25	V	bcA
50	II	aB	50	III	aB	50	IV	aA	50	V	abA
100	II	aC	100	III	aBC	100	IV	bB	100	V	bcA
200	II	aB	200	III	aB	200	IV	bB	200	V	aA

289

290

Fonte: da Autora (2021).

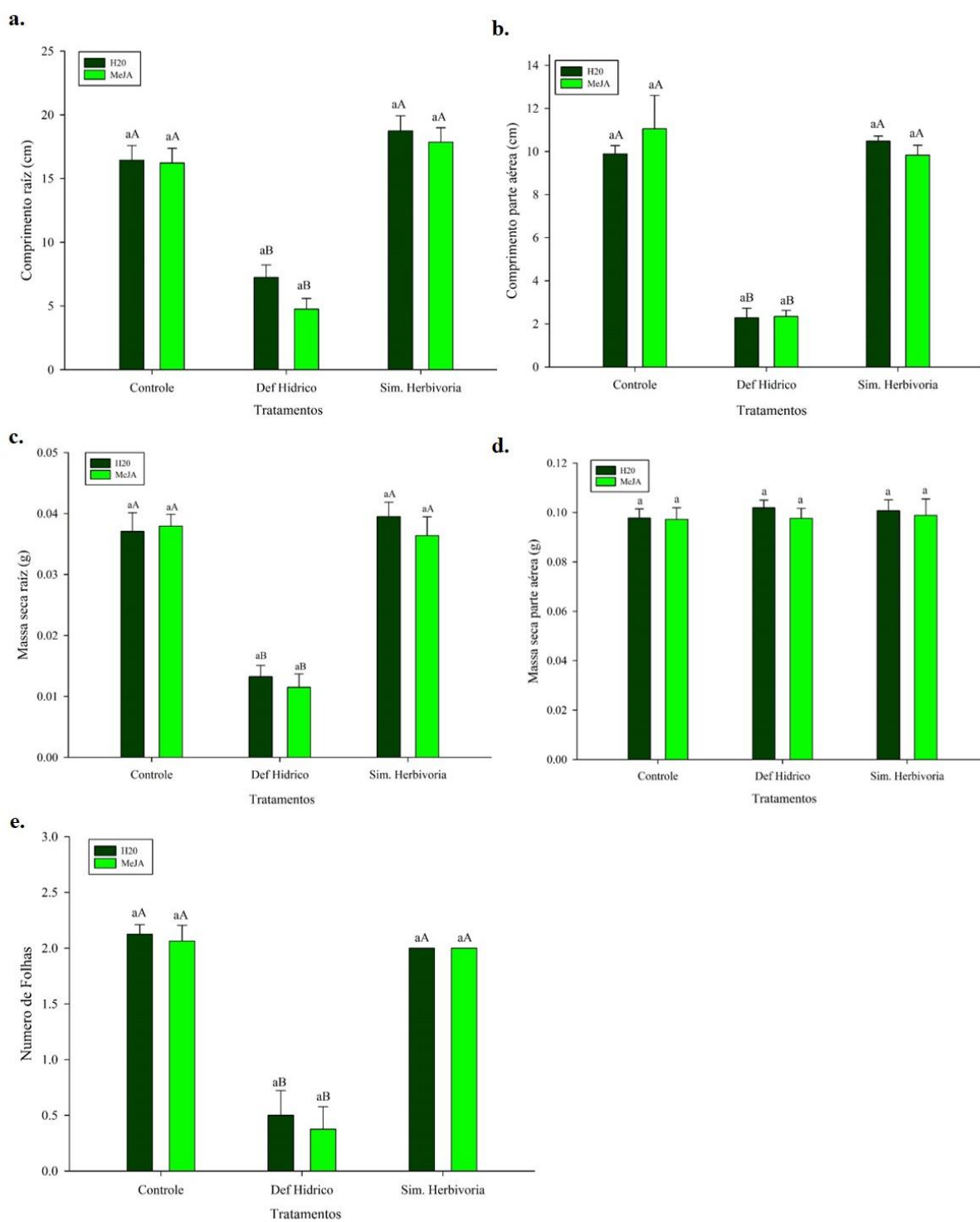
291 **3.2 Crescimento de plântulas de soja previamente tratadas com MeJA sob condições**
292 **estressantes**

293 Em relação às variáveis de crescimento, avaliadas no estágio vegetativo V1 de plântulas de soja,
294 pode-se observar que houve uma redução significativa no comprimento de raiz, comprimento de
295 caule, massa seca de raiz e número de folhas, para a condição déficit hídrico em comparação com
296 os outros tratamentos. Entretanto, não houve diferença entre as plântulas pré-condicionadas
297 (provenientes de sementes tratadas com 12.5 μ M de MeJA) e não pré-condicionadas (controle)
298 (figura 4a, b, c, e). A massa seca da parte aérea não apresentou diferença significativa entre os
299 tratamentos avaliados, nem entre as plântulas pré-condicionadas e não (figura 4d). Tais conclusões
300 diferem de outras pesquisas onde o MeJA alivia o estresse mas influencia negativamente no
301 crescimento e desenvolvimento das plântulas (DEUNER et al., 2015; KAZAN, 2015; KRAUS;
302 STOUT, 2019; YOON et al., 2009). Para o caso do arroz foi observado que MeJA em concentração
303 2,5 mM aliviou os efeitos do estresse osmótico na germinação de sementes assim como no
304 crescimento de plântulas (SHETEIWY et al., 2018). Dessa forma podemos deduzir que o déficit
305 hídrico foi o tratamento que maior influencia nas variáveis de crescimento, mesmo estiveram as
306 plântulas pré-condicionadas ou não com o MeJA, isso provavelmente pela etapa vegetativa em que
307 foi imposta a condição estressante.

308 **Figura 4.** Variáveis de crescimento de plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com
309 MeJA sobre condições de déficit hídrico e simulação de herbivoria. **a.** . Comprimento de raiz. **b.**
310 comprimento de parte aérea. **c.** massa seca de raiz. **d.** massa seca de parte aérea. **e.** número de
311 folhas desenvolvidas. Barras são médias \pm erro padrão de 16 repetições. Letras maiúsculas
312 comparam entre controle, déficit hídrico e simulação de herbivoria e letras minúsculas comparam

313 o pré-tratamento e controle dentro da mesma condição. Médias seguidas pela mesma letra não

314 diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



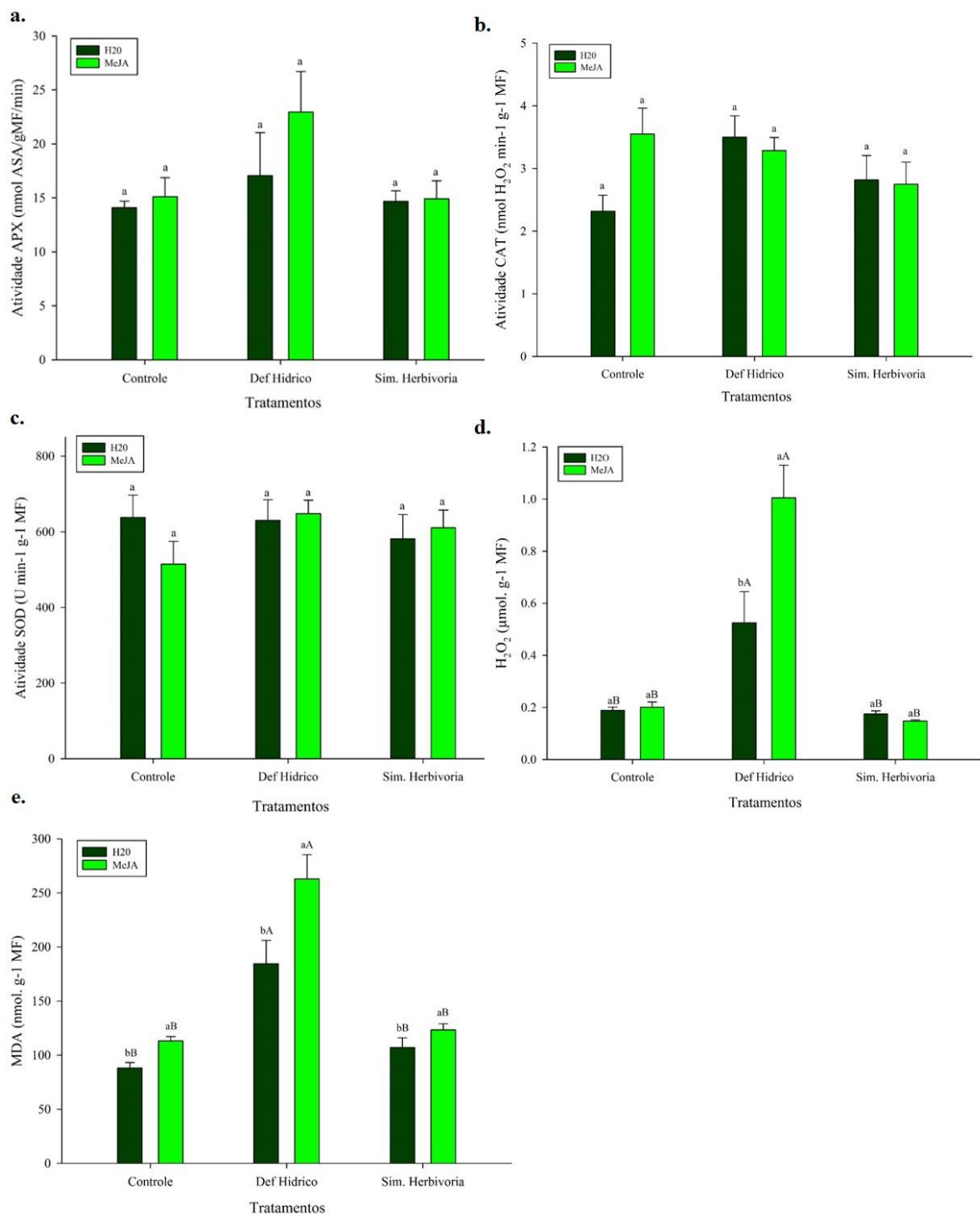
315

316 Fonte: da Autora (2021).

317 **3.3 Efeito do pré-tratamento com MeJA na atividade de enzimas antioxidantes, H₂O₂ e**
318 **peroxidação lipídica**

319 Os resultados de atividade das enzimas SOD, CAT e APX não revelaram diferenças significativas
320 entre as condições estressantes nem entre o pré-condicionante. Os teores de MDA e H₂O₂,
321 apresentaram uma diferença significativa para o déficit hídrico, e o MeJA induziu um maior teor
322 de MDA e H₂O₂ com diferença significativa nas médias dos dados obtidos. De forma oposta
323 KERAMAT; KALANTARI; ARVIN, (2009) relatam que aplicação por aspersão de MeJA em
324 plântulas de soja já estabelecidas, causou alívio dos danos de cádmio (Cd) pela redução do teor de
325 MDA e H₂O₂ e aumento da atividade de enzimas antioxidantes. Do mesmo modo pesquisas
326 realizadas em outras espécies sob condições de estresse de déficit hídrico, demonstram que MeJA
327 aumentou os valores de CAT e SOD e diminuiu a peroxidação de lipídios de membrana em
328 morango (WANG, 1999 e milho ABDELGAWAD; KHALAFAALLAH; ABDALLAH, 2014).
329 Estes resultados podem concluir que é determinante o tipo de método de aplicação do MeJA a
330 utilizar, além da fase vegetativa em que a plântula é exposta ao fitohormônio, para as variáveis
331 antioxidantes avaliadas, toda vez que em cada fase vegetativa além do metabolismo, a expressão
332 hormonal é diferente, porém a plântula responde de forma diferente.

333 **Figura 5.** Análise Bioquímica. a. Atividade de APX. b. Atividade de CAT. c. Atividade de SOD.
334 d. Teor de H₂O₂. e. Teor de MDA. Letras maiúsculas comparam entre controle, déficit hídrico e
335 simulação de herbivoria e letras minúsculas comparam o pré-tratamento e controle dentro da
336 mesma condição. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de
337 Tukey a 5% de probabilidade.



338

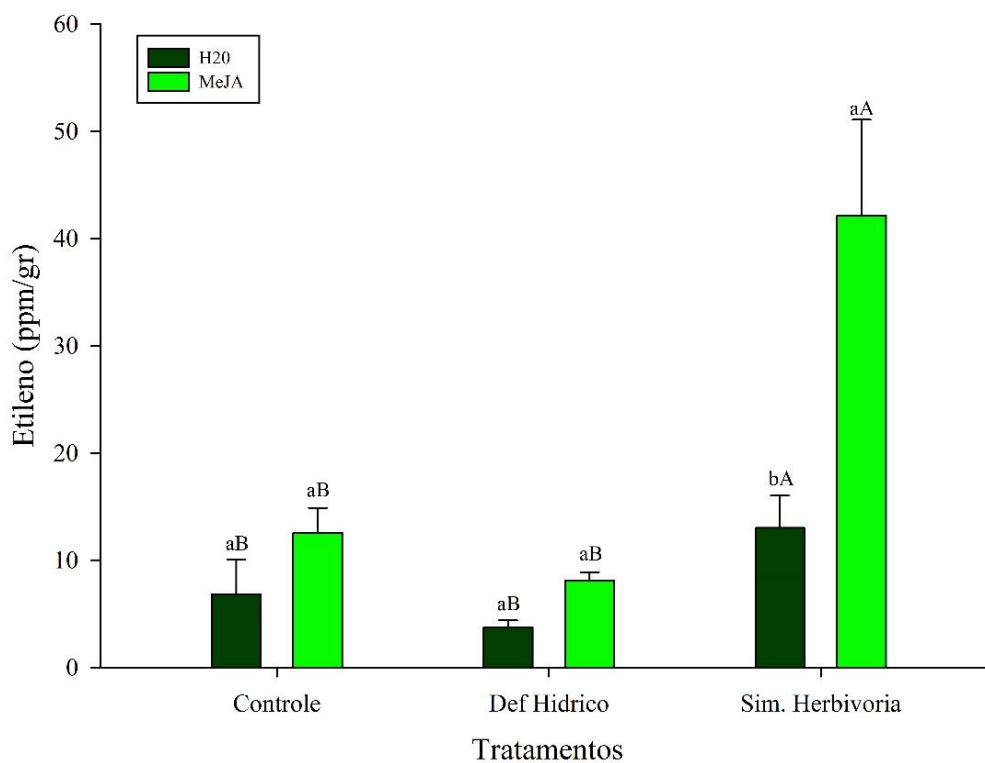
339

Fonte: da Autora (2021).

340 **3.4 Efeito do MeJA na liberação de etileno de plântulas de soja previamente tratadas**
341 **com MeJA sob condições estressantes**

342 Plântulas de soja previamente tratadas com MeJA sob condições estressantes, apresentaram
343 diferença significativa para os dados obtidos na liberação de etileno em condição simulação de
344 herbivoria, comparado com o déficit hídrico e o controle. O pré-condicionamento com MeJA
345 induziu a liberação de etileno em plântulas previamente tratadas e submetidas a condição de
346 simulação de herbivoria. Resultados similares foram observados em tomate, ao ser comprovado a
347 produção de etileno após dano e ação de elicitores como JAs, além disso, foi verificado que o
348 etileno pode potencializar a ação do JA em resposta ao dano, e sua biossíntese, assim como a do
349 JA, é estimulada após o dano mecânico (O'DONNELL et al., 1996). Pode-se observar que o
350 tratamento déficit hídrico e controle tiveram valores similares no conteúdo de etileno liberado,
351 tanto para plântulas previamente tratadas com MeJA como as não tratadas. Esperava-se que a
352 condição déficit hídrico induziria um aumento na liberação de etileno, uma vez que a biossíntese
353 de etileno é ativada na presença de um estresse abiótico (ZHU; LEE, 2015). Sabe-se que a condição
354 de déficit hídrico é um dos fatores associados ao aumento na taxa de produção do etileno,
355 entretanto, em alguns casos pode reprimir a produção deste hormônio volátil (SOBEIH et al.,
356 2004). A complexa resposta de liberação de etileno sob déficit hídrico é ilustrada por experimentos
357 com plantas de soja, onde um déficit hídrico lento não promoveu a produção de etileno ou níveis
358 de ACC, enquanto um déficit hídrico severo promoveu ambos os parâmetros (MORGAN; DREW,
359 1997). Possivelmente o fato de submeter as plântulas ao déficit hídrico na fase de estabelecimento
360 de plântula, e ser colocadas nessa condição estressante durante um tempo prolongado não
361 promoveu um aumento na liberação de etileno no tempo que foi avaliado. Destaca-se que o MeJA
362 e o etileno agem juntos na indução de resistência sistêmica, e a importância do MeJA na indução
363 da síntese de etileno (WALLING, 2000).

364 **Figura 6.** Liberação de etileno em plântulas de soja provenientes de sementes tratadas com MeJA
365 sobre condições de déficit hídrico e simulação de herbivoria. Letras maiúsculas comparam entre
366 controle, déficit hídrico e simulação de herbivoria e letras minúsculas comparam o pré-tratamento
367 e controle dentro da mesma condição. Médias seguidas pela mesma letra não diferem
368 significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



369

370

Fonte: da Autora (2021).

371 4. CONCLUSÕES

372 Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o MeJA induziu liberação de etileno em sementes
373 durante as diferentes fases de absorção de água do processo de germinação, e em plântulas de soja
374 provenientes de sementes tratadas com MeJA e submetidas a simulação de herbivoria.
375 Além disso, o MeJA promoveu maiores teores de H_2O_2 e MDA para as plântulas submetidas a
376 condição de déficit hídrico. Em relação as variáveis de crescimento a condição déficit hídrico
377 provocou menor crescimento de caule e raiz, assim como de massa seca de raiz e número de folhas.
378 Conclui-se que o MeJA na concentração utilizada não aliviou o estresse causado pelas condições
379 de déficit hídrico e simulação de herbivoria, entretanto, induziu maior liberação de etileno em
380 plantas em simulação de herbivoria, cujas sementes foram pré-condicionadas. Esses resultados são
381 promissores para futuros experimentos para aplicação do MeJA em sementes de soja no intuito de
382 induzir a liberação de etileno, que pode ser medido e utilizado como parâmetro não destrutivo de
383 análise do status da planta em campo. Porém é recomendável a utilização de MeJA na indução da
384 liberação de etileno durante as fases de germinação e estabelecimento da plântula. Os resultados
385 obtidos podem fornecer novas hipóteses de pesquisas, na utilização de outras concentrações de
386 MeJA a ser utilizadas sob outras condições estressantes.

387 **5. REFERENCIAS**

- 388 ABDALA, G.; CENZANO, A. Biosíntesis de jasmonatos y participación en procesos del
389 desarrollo vegetal. **SAFV, Temas de Fisiología Vegetal**, n. January, p. 56–87, 2006.
- 390 ABDELGAWAD, Z. A.; KHALAFAALLAH, A. A.; ABDALLAH, M. M. Impact of Methyl
391 Jasmonate on Antioxidant Activity and Some Biochemical Aspects of Maize Plant Grown under
392 Water Stress Condition. **Agricultural Sciences**, v. 05, n. 12, p. 1077–1088, 2014.
- 393 AFIFI, A. F.; EBID, M. F.; EL-GINDY, A. A. Ethylene production during seed germination of
394 some plants. **Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und**
395 **Hygiene. Zweite naturwissenschaftliche Abt.: Allgemeine, landwirtschaftliche und**
396 **technische Mikrobiologie**, v. 132, n. 8, p. 673–676, 1977.
- 397 ANDERSON, J. M. Jasmonic Acid-Dependent Increase in Vegetative Storage Protein in Soybean
398 Soybean Tissue Cultures. **J Plant Growth Regulation**, v. 10, p. 5–10, 1991.
- 399 AVRAMOVA, V. et al. Drought induces distinct growth response, protection, and recovery
400 mechanisms in the maize leaf growth zone. **Plant Physiology**, v. 169, n. 2, p. 1382–1396, 2015.
- 401 BAHRY, C. A. et al. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento da
402 soja em condição de estresse hídrico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 288–292, 2014.
- 403 BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v.
404 14, n. 2, p. 93–107, 2004.
- 405 BALDWIN, I. T. Plant volatiles. **Current Biology**, v. 20, n. 9, p. 392–397, 2010.
- 406 BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-Aeration following Hypoxia or Anoxia
407 Leads to Activation of the Antioxidative Defense System in Roots of Wheat Seedlings. **Plant**

- 408 **Physiology**, v. 116, n. 2, p. 651–658, 1998.
- 409 BOLSONI, V. P. **Compostos orgânicos voláteis (COV) emitidos por espécies vegetais da**
410 **Mata Atlântica sob alto ozônio Compostos orgânicos voláteis (COV) emitidos por espécies**
411 **vegetais da Mata Atlântica sob alto ozônio**. São Paulo: [s.n.].
- 412 BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: [s.n.].
- 413 CAMARENA-GUTIÉRREZ, G.; DE LA TORRE-ALMARÁZ, R. Resistencia Sistémica
414 Adquirida En Plantas: Estado Actual. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del**
415 **Ambiente** , v. 13, n. 2, p. 157–162, 2007.
- 416 CARVALHO, T. C. DE et al. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja
417 convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, v.
418 42, n. 8, p. 1366–1371, 2012.
- 419 CAVERZAN, A.; CASASSOLA, A.; BRAMMER, S. P. Antioxidant responses of wheat plants
420 under stress. **Genetics and Molecular Biology**, v. 39, n. 1, p. 1–6, 2016.
- 421 CENSO AGRO. **Censo soja grão**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>.
- 422 CHRISTINE H., F.; GRAHAM, N. Oxygen processing in photosynthesis : regulation and
423 signalling. **New Phytologist**, v. 146, n. 112, p. 359–388, 2000.
- 424 COLLINS, R. M. et al. Differential proteômica analysis of Arabidopsis thaliana genotypes
425 exhibiting resistance or susceptibility to the insect herbivore, Plutella xylostella. **Plus One**, v. 5,
426 n. 4, 2010.
- 427 CREELMAN, R. A.; MULLET, J. E. Biosynthesis and Action of Jasmonates in Plants. **Annual**
428 **Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, n. 1, p. 355–381, 1997.

- 429 DAI, L. Y. et al. Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings.
430 **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 77, n. 2, p. 118–125, 2017.
- 431 DE BORTOLI, S. A. et al. Herbivoria em soja: Efeito na composição química das folhas e na
432 biologia da lagarta da soja e do percevejo verde pequeno. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 3, p.
433 192–198, 2012.
- 434 DEUNER, C. et al. Ácido Jasmônico Como Promotor De Resistência Em Plantas. **Revista de**
435 **Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 275–281, 2015.
- 436 DU, Z.; BRAMLAGE, W. J. Modified Thiobarbituric Acid Assay for Measuring Lipid Oxidation
437 in Sugar-Rich Plant Tissue Extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 9,
438 p. 1566–1570, 1992.
- 439 FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K. Jasmonates: Mechanisms and functions
440 in abiotic stress tolerance of plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, n.
441 April, p. 101210, 2019.
- 442 FARMER, E. E.; ALMÉRAS, E.; KRISHNAMURTHY, V. Jasmonates and related oxylipins in
443 plant responses to pathogenesis and herbivory. **Current opinion in plant biology**, v. 6, n. 4, p.
444 372–8, 2003.
- 445 FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for**
446 **sustainable Development**, p. 185–212, 2009.
- 447 FERREIRA, L. A. et al. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de
448 milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 80–89, 2007.
- 449 FIDELIS, R. R. et al. Alguns Aspectos Do Plantio Direto Para a Cultura Da Soja. **Bioscience**

- 450 **journal**, v. 19, n. 1, p. 23–31, 2003.
- 451 FRANCESCHI, V. R.; GRIMES, H. D. Induction of soybean vegetative storage proteins and
452 anthocyanins by low-level atmospheric methyl jasmonate. **Plant biology**, v. 88, p. 6745–6749,
453 1991.
- 454 GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v.
455 70, n. 3, p. 16–18, 2018.
- 456 GHASSEMI-GOLEZANI, K.; NIKPOUR-RASHIDABAD, N. Seed pretreatment and salt
457 tolerance of dill: Osmolyte accumulation, antioxidant enzymes activities and essence production.
458 **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 12, p. 30–35, 2017.
- 459 GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases. **Plant Physiology**, v. 59, p. 315–
460 318, 1977.
- 461 HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple
462 Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987.
- 463 HIRAKURI, M.; LAZZAROTTO, J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro.
464 **Documentos EMBRAPA, Soja**, v. 349, n. 2176.2937, p. 37, 2014.
- 465 HOFFMANN-CAMPO, C. et al. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. **Circular**
466 **Tecnica - EMBRAPA Soja (Brazil)**, p. 70, 2000.
- 467 HOLOPAINEN, J. K.; GERSHENZON, J. Multiple stress factors and the emission of plant
468 VOCs. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 3, p. 176–184, 2010.
- 469 HUANG, H. et al. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses.
470 **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. June, p. 1–10, 2019.

- 471 IMEA. **Boletim Semanal Da Soja, nº 382**. Disponível em:
472 <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R404_2015_12_04_BSSOJA.pdf>.
- 473 JAITI, F.; VERDEIL, J. L.; EL HADRAMI, I. Effect of jasmonic acid on the induction of
474 polyphenoloxidase and peroxidase activities in relation to date palm resistance against *Fusarium*
475 *oxysporum* f. sp. *albedinis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 74, n. 1, p. 84–90,
476 2009.
- 477 JANEGITZ, T. **Efeitos de cis-jasmone na indução de compostos fenólicos em genótipos de**
478 **soja, inoculados ou não com *Meloidogyne javanica***. [s.l.] Universidade Estadual de Maringá,
479 2012.
- 480 JOHNSON, R.; PUTHUR, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants
481 with cross tolerance to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 247–257,
482 maio 2021.
- 483 KALAIVANI, K.; MARUTHI-KALAISELVI, M.; SENTHIL-NATHAN, S. Seed treatment and
484 foliar application of methyl salicylate (MeSA) as a defense mechanism in rice plants against the
485 pathogenic bacterium, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**,
486 v. 171, n. September, p. 104718, 2020.
- 487 KAZAN, K. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. **Trends in Plant**
488 **Science**, v. 20, n. 4, p. 219–229, 2015.
- 489 KERAMAT, B.; KALANTARI, K. M.; ARVIN, M. J. Effects of methyl jasmonate in regulating
490 cadmium induced oxidative stress in soybean plant (*Glycine max* L.). **African Journal of**
491 **Microbiology Research**, v. 3, n. 5, p. 240–244, 2009.
- 492 KRAUS, E. C.; STOUT, M. J. Seed treatment using methyl jasmonate induces resistance to rice

- 493 water weevil but reduces plant growth in rice. **PLoS ONE**, v. 14, n. 9, p. 1–17, 2019.
- 494 KRÓL, P. et al. Priming of seeds with methyl jasmonate induced resistance to hemi-biotroph
495 *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* in tomato via 12-oxo-phytodienoic acid, salicylic acid, and
496 flavonol accumulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 179, p. 122–132, 2015.
- 497 LAREDO ALCALÁ, E. I. et al. Aplicación de ácido jasmónico como inductor de resistencia
498 vegetal frente a patógenos. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 8, n. 3, p. 673, 2017.
- 499 LAUXEN, L. R.; VILLELA, F. A.; SOARES, R. C. Desempenho fisiológico de sementes de
500 algodoeiro tratadas com tiametoxam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 61–68,
501 2010.
- 502 LEÓN, J.; ROJO, E.; SÁNCHEZ-SERRANO, J. J. Wound signalling in plants. **Journal of**
503 **Experimental Botany**, v. 52, n. 354, p. 1–9, 2001.
- 504 LERUD, R. M. et al. Optimizing the performance of a commercial electrochemical ethylene
505 sensor via controlled ethylene generation in situ. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 281, p.
506 535–541, 2019.
- 507 LIMA, F. Z. DE et al. Efeito do estresse de luz e água na eficiência do uso da radiação solar pela
508 cultura da soja (*Glycyne max* (L .) Merrill) Effect of light and water stress on radiation use
509 efficiency of soybean (*Glycyne max* (L .) Merrill) crop. p. 1–7, 2004.
- 510 LIN, Z.; ZHONG, S.; GRIERSON, D. Recent advances in ethylene research. **Journal of**
511 **Experimental Botany**, v. 60, n. 12, p. 3311–3336, 2009.
- 512 LOPES, A. P. S. et al. Defesas induzidas por herbivoria e interações específicas no sistema
513 tritrófico soja-percevejos-parasitoides de ovos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 6, p.

- 514 875–878, 2012.
- 515 LORETO, F.; SCHNITZLER, J. P. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in Plant**
516 **Science**, v. 15, n. 3, p. 154–166, 2010.
- 517 MACEDO, M. C. DE et al. PRODUÇÃO DE IPÊ-BRANCO EM DIFERENTES
518 SUBSTRATOS. **CERNE**, v. 17, p. 95–102, 2011.
- 519 MACHADO, C. F. et al. Metodologia Para a Condução do Teste de Germinação em Sementes de
520 Ipê-Amarelo. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 17–25, 2002.
- 521 MARÍN-LOAIZA, J. C.; CÉSPEDES, C. L. Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión,
522 efectos, análisis y aplicaciones al agro. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 30, n. 4, p. 327–351,
523 2007.
- 524 MARTÍNEZ, M. et al. Resistencia y tolerancia a estrés abiótico: Mecanismos sofisticados de
525 adaptación de las plantas ante distintas condiciones de estrés. **Frontera Biotecnológica**, v. 5, p.
526 21–25, 2018.
- 527 MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D. DE. Tratamento de sementes: histórico, tipos,
528 características e benefícios. **Informativo Abrates[S.l: s.n.]**, v. 20, p. 52;53, 2010.
- 529 MEWIS, I. Major Signaling Pathways Modulate Arabidopsis Glucosinolate Accumulation and
530 Response to Both Phloem-Feeding and Chewing Insects. **Plant Physiology**, v. 138, n. 2, p. 1149–
531 1162, 2005.
- 532 MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and
533 salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 4, p. 453–467, 2010.
- 534 MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7,

- 535 n. 9, p. 405–410, 2002.
- 536 MITTLER, R. et al. ROS signaling: The new wave? **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 6, p.
537 300–309, 2011.
- 538 MORAVCOVÁ, Š. et al. Influence of salicylic acid pretreatment on seeds germination and some
539 defence mechanisms of *Zea mays* plants under copper stress. **Plant Physiology and**
540 **Biochemistry**, v. 122, p. 19–30, 2018.
- 541 MORGAN, P. W.; DREW, M. C. Ethylene and plant responses to stress. **Physiologia**
542 **Plantarum**, v. 100, n. 3, p. 620–630, 1997.
- 543 NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in
544 spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867–880, 1981.
- 545 O'DONNELL, P. J. et al. Ethylene as a Signal Mediating the Wound Response of Tomato Plants.
546 **Science**, v. 274, p. 1914–1916, 1996.
- 547 OLIVEIRA, T. B. **Influência Do Jasmonato De Metila E Do Tween 20 Na Fisiologia E Na**
548 **Severidade Da Ferrugem Asiática Na Soja**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2014.
- 549 OMER, A. D. et al. Chemically-induced resistance against multiple pests in cotton. **International**
550 **Journal of Pest Management**, v. 47, n. 1, p. 49–54, 2001.
- 551 PINHEIRO, D. **A ação dos voláteis induzidos por herbivoria na comunicação entre plantas:**
552 **Croton floribundus Spreng como espécie modelo**. [s.l.] Instituto de Botânica da Secretaria de
553 Estado do Meio Ambiente, 2017.
- 554 PINHEIRO, R. DE A. et al. Efeito de preparados homeopáticos no vigor de sementes e
555 desenvolvimento de plântulas de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 81–90,

- 556 2019.
- 557 PINTO-ZEVALLOS, D. M. et al. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas
558 contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013.
- 559 PROJETO SOJA BRASIL. **Replântio Assombra Sojicultura De Mato Grosso**. Disponível em:
560 <<<http://www.projetosojabrasil.com.br/replantio-assombra-sojicultura-de-mato-grosso/>>>.
- 561 PYNGROPE, S.; BHOOMIKA, K.; DUBEY, R. S. Reactive oxygen species, ascorbate–
562 glutathione pool, and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice
563 (*Oryza sativa L.*) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. **Protoplasma**, v. 250,
564 n. 2, p. 585–600, 28 abr. 2013.
- 565 RIFFEL, A.; COSTA, J. G. DA. **Os Voláteis de Plantas e o seu Potencial para a Agricultura**.
566 1^a. ed. Aracaju: [s.n.].
- 567 RODRIGUEZ-SAONA, C. et al. Exogenous methyl jasmonate induces volatile emissions in
568 cotton plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 27, n. 4, p. 679–695, 2001.
- 569 ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Horticultural applications of jasmonates: A review. **Journal of**
570 **Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 3, p. 283–304, 2008.
- 571 ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Spider mites (*Tetranychus urticae*) perform poorly on and
572 disperse from plants exposed to methyl jasmonate. **Entomologia Experimentalis et Applicata**,
573 v. 137, n. 2, p. 143–152, 2010.
- 574 ROSA, V. D. R. **Alterações fisiológicas induzidas pelo deficit hídrico no estágio reprodutivo**
575 **da soja com reflexo sobre a produtividade**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2017.
- 576 ROSÁRIO, V. DO et al. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant

- 577 based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. **Plant Physiology and**
578 **Biochemistry**, v. 158, n. January 2020, p. 228–243, 2021.
- 579 RYAN, C. A. The systemin signaling pathway: Differential activation of plant defensive genes.
580 **Biochimica et Biophysica Acta - Protein Structure and Molecular Enzymology**, v. 1477, n.
581 1-2, p. 112–121, 2000.
- 582 SANCHES, P. A. et al. Direct and indirect resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis*
583 induced by jasmonic acid. **Bulletin of Entomological Research**, p. 1–11, 2017.
- 584 SÁNCHEZ, F. Jasmonatos: compuestos de alto valor para la agricultura. Parte I. Actividad
585 biológica y ruta biosintética del ácido jasmónico en plantas. v. XLII, n. 1-3, p. 51–59, 2008.
- 586 SCHRÖDER, R. et al. Reduction of ethylene emission from Scots pine elicited by insect egg
587 secretion. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 7, p. 1835–1842, 2007.
- 588 SHETEIWY, M. S. et al. Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced
589 osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. **Environmental and**
590 **Experimental Botany**, v. 153, p. 236–248, 2018.
- 591 SHI, J. et al. Overexpression of ARGOS genes modifies plant sensitivity to ethylene, leading to
592 improved drought tolerance in both *Arabidopsis* and maize. **Plant Physiology**, v. 169, n. 1, p.
593 266–282, 2015.
- 594 SILVA, E. N. et al. Coordinate changes in photosynthesis, sugar accumulation and antioxidative
595 enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. **Biomass and**
596 **Bioenergy**, v. 45, p. 270–279, out. 2012.
- 597 SILVA, N. C. Q. et al. Salt stress inhibits germination of *Stylosanthes humilis* seeds through

- 598 abscisic acid accumulation and associated changes in ethylene production. **Plant Physiology and**
599 **Biochemistry**, v. 130, p. 399–407, 2018.
- 600 SILVA-SOARES, S. DA. **Emergência e desenvolvimento de chrysanthemum carinatum l.**
601 **(asteraceae/compositae) em regime diferencial de luz e com simulação de herbivoria**
602 **Uberlândia-MG**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- 603 SMIRNOFF, N. (ED.). **Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants**. John Wiley ed.
604 [s.l: s.n.].
- 605 SOBEIH, W. Y. et al. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in
606 tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. **Journal of**
607 **Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2353–2363, 2004.
- 608 SOUZA, B. L. DE et al. Influência do etileno na germinação de sementes de rabanete. v. 2, p.
609 5190–5196, 2011.
- 610 SOUZA, J. P. M. DE. **Germinação e desenvolvimento de soja, *Glycine max* (L.) Merr.**
611 **(Fabaceae), cultivar BR 11, em regime diferencial de luz e com simulação de herbivoria.**
612 Uberlândia-MG: [s.n.]. Disponível em:
613 <<https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298>>.
- 614 TEIXEIRA, J. P. F. Comunicação entre plantas como estratégia de defesa*. **Instituto**
615 **Agrônômico, Centro de Recursos Genéticos Vegetais**, n. September, p. 1–20, 2016.
- 616 TIAN, S. et al. Plant Aquaporin AtPIP1;4 Links Apoplastic H₂O₂ Induction to Disease
617 Immunity Pathways. **Plant Physiology**, v. 171, n. 3, p. 1635–1650, jul. 2016.
- 618 TORRIGIANI, P. et al. Differential expression of allene oxide synthase (AOS), and jasmonate

- 619 relationship with ethylene biosynthesis in seed and mesocarp of developing peach fruit.
620 **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, n. 1, p. 67–73, 2012.
- 621 VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems
622 in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151,
623 n. 5, p. 59–66, 2000.
- 624 WALLING, L. L. The myriad plant responses to herbivores. **Journal of Plant Growth**
625 **Regulation**, v. 19, n. 2, p. 195–216, 2000.
- 626 WANG, S. Y. Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. **Journal of Plant Growth**
627 **Regulation**, v. 18, n. 3, p. 127–134, 1999.
- 628 WATERMAN, J. M. et al. Simulated Herbivory: The Key to Disentangling Plant Defence
629 Responses. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 34, n. 5, p. 447–458, 2019.
- 630 XING, X. HUA et al. Improved drought tolerance by α -naphthaleneacetic acid-induced ROS
631 accumulation in two soybean cultivars. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 8, p. 1770–
632 1784, 2016.
- 633 YOON, J. Y. et al. Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. **Journal of Crop**
634 **Science and Biotechnology**, v. 12, n. 2, p. 63–68, 2009.
- 635 ZALEWSKI, K. et al. The influence of exogenous methyl jasmonate on the germination and,
636 content and composition of flavonoids in extracts from seedlings of yellow and narrow-leafed
637 lupine. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 87, n. 103398, p. 1–7, 2020.
- 638 ZHU, Z.; LEE, B. Friends or foes: New insights in jasmonate and ethylene co-actions. **Plant and**
639 **Cell Physiology**, v. 56, n. 3, p. 414–420, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho proporciona um referente para pesquisas na área de indução de resistência sistêmica, assim como para analisar o papel dos hormônios MeJA e etileno na defesa das plantas. Além disso, permitiu realizar uma comparação do etileno liberado sobre dois estresses diferentes, déficit hídrico e simulação de herbivoria. Assim como realizar a caracterização de etileno liberado nas diferentes fases de absorção de água, tanto para sementes tratadas com diferentes concentrações de MeJA como para sementes não tratadas.

Para próximos estudos é importante considerar, avaliar a liberação de etileno em outros estádios vegetativos de plântulas de soja, com o objetivo de obter um referencial mais robusto; assim como realizar um análise mais detalhado da atividade de enzimas antioxidantes, sobre diferentes tempos de exposição das plantas aos estresses.