



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

UNIDADE ACADÊMICA – DOIS IRMÃOS (SEDE)

BACHARELADO EM AGRONOMIA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO - ESO

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA APLICAÇÃO DO METIL JASMONATO E
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA ACLIMATAÇÃO AO ESTRESSE
HÍDRICO E SALINO EM ARROZ: ESTRESSE OXIDATIVO E PIGMENTOS
FOTOSSINTETIZANTES.**

Discente: **MIRELLA LARISSA LIMA DA SILVA**

RECIFE – PE

2023

MIRELLA LARISSA LIMA DA SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA APLICAÇÃO DO METIL JASMONATO E
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA ACLIMATAÇÃO AO ESTRESSE
HÍDRICO E SALINO EM ARROZ: ESTRESSE OXIDATIVO E PIGMENTOS
FOTOSSINTETIZANTES.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica – Dois Irmãos (Sede), como parte das exigências do curso de graduação em Agronomia para à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Loss Sperandio.

Recife-PE

2023

IDENTIFICAÇÃO

Nome da aluna: **MIRELLA LARISSA LIMA DA SILVA**

Curso: Bacharelado em Agronomia

Matrícula: 200696733

Tipo de Estágio: Supervisionado Obrigatório - ESO

Área de conhecimento: Fisiologia Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Loss Sperandio.

Período de realização: Setembro de 2021 à Agosto de 2022

Total de Horas: 210 h

Assinatura do Orientador

Assinatura do Discente

Dedico este trabalho aos meus pais Gilvan Francisco e Maria de Lourdes que sempre lutaram muito para me dar uma boa educação e nunca duvidaram de mim, nem o meu potencial. Ao meu noivo que sempre foi meu porto seguro nos momentos de desespero e nunca mediu esforços para me ajudar. E a minha irmã que sempre me lembrou de sorrir e levar a vida mais leve. A eles todo meu amor e gratidão.

Agradecimentos

Agradeço a toda a minha família que sempre estiveram ao meu lado me auxiliando, ajudando e me dando todo o suporte. Mas agradeço em especial a minha mãe Lourdes e meu pai Gilvan por todo amor e carinho que me deram e por acreditarem em mim mesmo quando eu mesma cheguei a duvidar. A minha irmã Naara por sempre me apoiar e comprar açaí quando eu estava triste. E ao meu noivo Willyan por sempre acreditar nos meus sonhos, me incentivar todos os dias a ser uma pessoa melhor e por todo amor e carinho que sempre me deu.

Agradeço a todos os integrantes dos Laboratórios de Fisiologia e Cultivo in vitro de Plantas (LFC-Planta) e Anatomia e Bioquímica de Plantas (LAB-Planta) da UFRPE, por me acolherem desde o começo e compartilharem comigo todo seus conhecimentos. Em especial agradeço ao meu orientador prof. Dr. Marcus Sperandio e a profa. Dra. Cláudia Ulisses por toda gentileza e paciência, aprendi lições com vocês que levarei pra sempre.

Agradeço a minhas amigas que a Rural trouxe : Luana e Amanda, que sempre me deixavam a par das fofocas e me arrancavam muitas risadas, obrigada por todos os trabalhos juntas e por estarem comigo sempre. Um agradecimento especial para meu irmão de graduação Plínio que se tornou um dos meus melhores amigos da vida, obrigado por ser meu confidente e por tornar minha graduação mais leve e divertida mesmo quando as coisas estavam muito difíceis.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivos Gerais	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. METODOLOGIA	9
3.1. Experimento e Material Vegetal	9
3.2. Avaliações Biométricas e de Crescimento	10
3.3. Avaliação de Pigmentos Foliare	10
3.4. Determinação de Malonaldeído (MDA) e Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)	10
3.5. Análises Estatísticas	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	22
6. CONCLUSÃO	23
7. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

O arroz é uma planta de caules cilíndricos característica da família Poaceae, cujo nome científico é *Oryza sativa*. Suponha-se que sua origem é proveniente da China ou Índia, contudo atualmente é uma espécie cultivada em todo o mundo e altamente difundida. Cultivado em todos os continentes, sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômicos e sociais. Ao lado do feijão, o arroz atua como componente da dieta básica do brasileiro, sendo consumido de forma ampla, nos estratos sociais de maior renda e em todas as faixas etárias, fazendo parte da cultura e tradição brasileira.

Como já ressaltado, o arroz possui importância em diversos países e sua alta demanda de mercado anual faz com que seu cultivo seja realizado em locais onde não há condições ideais de plantio. Esses locais geralmente são afligidos por estresses abióticos que delimitam e interferem na produção ótima, não só do arroz como de culturas em geral não resistentes a essas condições.

Os estresses abióticos mais conhecidos são o hídrico e salino, sendo fisiologicamente ligados e podendo acometer nas plantas mesmos efeitos deletérios similares. Dentre os diversos problemas que podem surgir destaca-se a diminuição da massa seca da parte aérea e radicular; comprometimento da transpiração e assimilação de CO₂; redução na taxa de expansão foliar; problemas no transporte de água e nutrientes; inibição fotossintética; produção de espécies reativas de oxigênio (ERO); desestabilização de membranas e de proteínas e indução da produção de ABA. Os estresses abióticos ao afetarem as plantas com seus efeitos conseqüentemente incitam as mesmas a desenvolverem mecanismos para adaptação a esses ambientes utilizando-se de mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares. Para estresses salinos, um exemplo notável é a estratégia de acumular solutos inorgânicos em diferentes partes da planta, os mesmos podem proteger enzimas e estruturas órgão-específicos, o que pode contribuir para o balanço osmótico parcial da planta evitando acúmulo de solutos inorgânicos (Gou et al., 2016). Outro exemplo são as bombas de prótons presentes nas células vegetais, que através da membrana plasmática energizam o transporte de íons como o Na⁺. Já para estresses hídricos um mecanismo essencial e uma das primeiras linhas de defesa contra a desidratação é o fechamento estomático, pois trata-se de um processo rápido e flexível se comparado a outras alternativas, tais como mudanças no ciclo de vida, crescimento da raiz ou área foliar, que se mostram mais adequadas a uma adaptação a longo prazo.

Tendo em vista os efeitos deletérios causados por esses estresses abióticos, pesquisadores estudam diferentes maneiras de minimizar a ação prejudicial do estresse hídrico e salino sobre as plantas e assim proporcionar uma melhor adaptação a aclimatação a esses ambientes, promovendo uma melhor produção e geração de lucros. Uma alternativa bastante avaliada é o uso de elicitores, podendo ser definido como uma molécula de origem endógena ou exógena, aplicada em pequenas concentrações que promovem uma série de mudanças fisiológicas, bioquímicas e morfológicas (Radman et al. 2013). A depender do elicitador, sua ação pode ser de sinalização molecular. Essa condição permite seu uso em forma de *priming*, ou seja, ocorre a aplicação prévia ao estresse e a função de sinalização molecular aciona mecanismos de tolerância ao estresse. Nesse cenário a planta elicitada se adapta melhor ao estresse ao qual é submetida pois já possui um aparato bioquímico bem desenvolvido.

A escolha de elicitores é devido à sua ação de sinalização e efeitos nas plantas. A molécula de sinalização Metil Jasmonato atua na regulação da formação dos órgãos reprodutivos, crescimento da raiz, formação de tubérculos, floração, amadurecimento de frutos, senescência, germinação de sementes, armazenamento de nutrientes e transporte de assimilados, (Zhang et al., 2015; Avalbaev et al., 2016; Ji et al., 2016). Tendo atuação comprovada em estudos que mostram sua eficácia na tolerância das plantas contra estresses abióticos, como salinidade, seca, radiação ultravioleta, metais pesados, temperaturas extremas e ozônio (Avalbaev et al., 2016). Além disso, o MeJA é principalmente conhecido por aumentar o crescimento e o desenvolvimento de plantas sob estresse salino.

O Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) é característico por sua ligação com as espécies reativas de oxigênio (ERO) e em grandes concentrações podem causar efeitos nocivos as plantas relacionadas ao estresse oxidativo. Contudo, em baixa concentração essa molécula age como um sinalizador molecular que aciona a tolerância a vários estresses bióticos e abióticos promovendo assim a melhor aclimatação das plantas (Bhattacharjee, 2012). O peróxido de hidrogênio também tem destaque como uma chave reguladora da senescência, fotorrespiração e fotossíntese, movimento estomático, ciclo celular, crescimento e desenvolvimento celular (Bright et al., 2006; Foreman et al., 2003; Mittler et al., 2004; Quan et al., 2008).

O presente projeto tem como intuito avaliar os efeitos da aplicação de metil jasmonato e peróxido de hidrogênio nas respostas de crescimento de arroz da variedade Nipponbare

e verificar os efeitos do priming nas respostas de aclimação ao estresse hídrico e salino de acordo com o estresse oxidativo gerado pelo estresse.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da aplicação de metil jasmonato e peróxido de hidrogênio nas respostas de crescimento de arroz da variedade Nipponbare e verificar os efeitos do priming nas respostas de aclimação ao estresse hídrico e salino de acordo com o estresse oxidativo gerado pelo estresse.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o crescimento da raiz e parte aérea de acordo com o elicitor aplicado;
- Cultivar em casa de vegetação plantas de arroz com estresse hídrico e salino com aplicação de elicitores;
- Determinar os teores de clorofila a clorofila b e carotenoides em plantas de arroz sob estresse abiótico;
- Avaliar o estresse oxidativo pela determinação dos teores de H₂O₂ e Malondealdeído (MDA).

3. METODOLOGIA

3.1 Experimento e Material vegetal

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Biologia da UFRPE. As medições biométricas e avaliações bioquímicas foram feitas nos Laboratórios de Fisiologia e Cultivo in vitro de Plantas (LFC-Planta) e Anatomia e Bioquímica de Plantas (LABPlanta).

Foram usadas sementes de arroz da variedade modelo Nipponbare previamente caracterizadas (Sperandio et al., 2011; Sperandio et al., 2014). As sementes foram desinfetadas usando Hipoclorito de sódio 2,5% e colocadas para germinar em vasos de plástico contendo areia lavada com volume de 0,5 L. Aos 05 dias após a germinação (DAG) as plantas foram transferidas para potes, sendo 02 plantas por pote, contendo uma mistura de substrato comercial e areia (2:1) e adubadas de acordo com a análise química de solo. Os potes receberam água para manter a umidade a 80% da capacidade de pote. Aos 35 DAG as plantas receberam aplicação de diferentes elicitores (Metil jasmonato ou

H₂O₂). Como controle nesta etapa foi aplicado água nas plantas. A aplicação foi feita por aspersão até o ponto de escorrimento da solução das folhas.

A submissão dos estresses ocorreu a partir dos 40 DAG. Para o estresse hídrico, os potes foram divididos em dois grupos: controle (manutenção da capacidade de pote a 80%) e estresse (sem aplicação de água). Para a aplicação do estresse salino os potes foram divididos em dois grupos: controle (manutenção da capacidade de pote a 80%) e solução 200 mM de NaCl a cada três dias.

A coleta do experimento de estresse hídrico foi feita no dia em que, as plantas do tratamento com estresse apresentaram folhas enroladas (sintoma de estresse hídrico severo). A coleta do estresse salino foi realizada após 08 dias de aplicação do estresse. As plantas foram divididas em raiz e parte aérea, pesadas e 1 grama de raiz e folha foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer para posterior análises bioquímicas. Uma parte do material vegetal foi pesado no dia da coleta (massa fresca) e posteriormente seco em estufa (60 °C) para determinação do teor de água vegetal de cada tratamento.

3.2 Avaliações Biométricas e de Crescimento

Foram feitas medidas de comprimento do colmo e número de folhas no dia da coleta. A produção de biomassa fresca foi medida com o auxílio de uma balança analítica.

3.3 Análise dos Pigmentos Foliaves

As folhas foram maceradas usando nitrogênio líquido com almofariz e pistilo. Os teores de clorofila a, b e carotenoides foram determinados conforme descrito por Bezerra Neto e Barreto (2011).

3.4 Determinação da concentração de Malondealdeído (MDA) e H₂O₂

Será macerado 200 mg de material vegetal da folha em 2 ml de ácido tricloroacético (TCA) 0,1%. Após maceração, o material será centrifugado a 10.000 x g por 15 minutos. Após a centrifugação, será coletado 500 µL do sobrenadante em um tubo de vidro com tampa contendo 1,5 mL de ácido tiobarbitúrico 0,5 em TCA 20% (preparado somente durante o uso). A determinação de MDA será feita de acordo com Heath e Packer (1968) e H₂O₂ com Loreto e Velikava (2001).

3.5 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, usando os programas “Statistica 7” e “Sisvar”. Para diferenciar os tratamentos aplicados foram usados os testes de LSD e Tukey ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sob as condições experimentais neste trabalho, as plantas apresentaram crescimento adequado sem apresentar deficiência de nutrientes, mostrando boa adaptação da variedade Nipponbare para as condições do experimento (Figura 1).



Figura 1. Experimento conduzido em casa de vegetação no Departamento de Biologia (Área de Botânica) da UFRPE.

O primeiro parâmetro avaliado é referente ao número de folhas em cada controle e tratamento (Figura 2). Nesse caso, os resultados obtidos demonstram que para o grupo controle, aqueles que não foram submetidos a nenhum estresse, os indivíduos que receberam aplicação foliar de MeJA apresentaram uma diferença estatística significativa quando comparado aos demais indivíduos dentro do mesmo grupo controle. Para salinidade pode-se observar resultados semelhantes ao grupo controle. Mesmo sob condições de salinidade o grupo pulverizado com MeJA demonstrou melhor adaptação, e conseqüentemente, maior número de folhas. Já para o grupo “seca” resultados semelhantes não foram notados, de maneira que, pode-se observar que no gráfico em

questão esse grupo não se diferenciou estatisticamente independente de ter sido elicitado ou não.

O decréscimo no número de folhas com estresse salino ocorre pelo aumento da concentração de solutos na solução do solo e promovendo um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico (Park et al. 2016). Desta forma a planta diminui a emissão de novas folhas para evitar a perda de água excessiva para o ambiente através da abertura estomática. Contudo, como já citado, o MeJA promoveu um aumento no número de folhas, provando que sua aplicação foi o fator que permitiu uma redução nos efeitos que o estresse por sais pode acarretar.

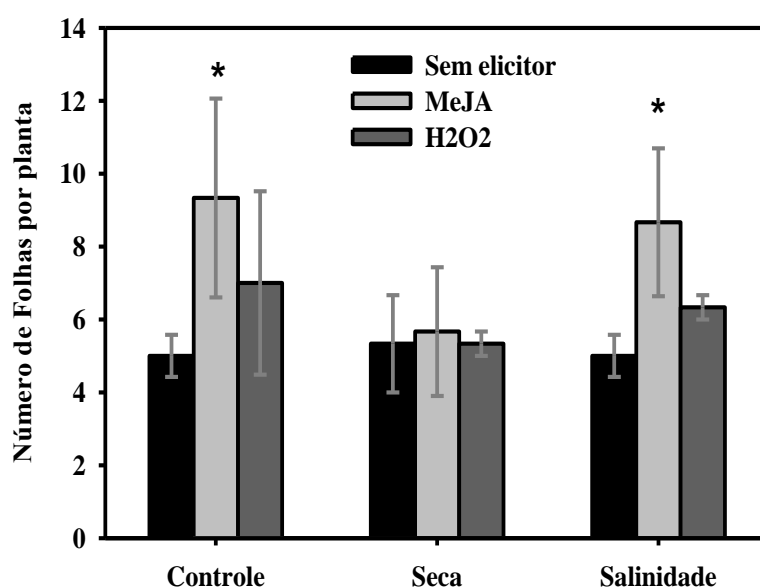


Figura 2. Biometria corresponde ao número de folhas (NF) presentes nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitador e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Para análises biométricas do tamanho da maior folha (Figura 3), podemos observar com clareza que a pulverização foliar do MeJA proporcionou uma diferença estatística significativa, não apenas no grupo controle, como também nos grupos submetidos às condições de salinidade e seca. O Metil Jasmonato não só atuou alavancando os indivíduos em condições ideais de cultivo como também permitiu uma maior tolerância aos efeitos deletérios de ambos os estresses propostos. Já para as análises de tamanho de caule (Figura 3) apenas notamos a ação significativa do MeJA quando submetido à salinidade ou pertencentes ao grupo controle. Mesmo assim, sua atuação no aumento do tamanho dos caules em condições de salinidade, corroboram para afirmação

que a presença deste elicitor propicia melhores resultados nos parâmetros de crescimento estudados.

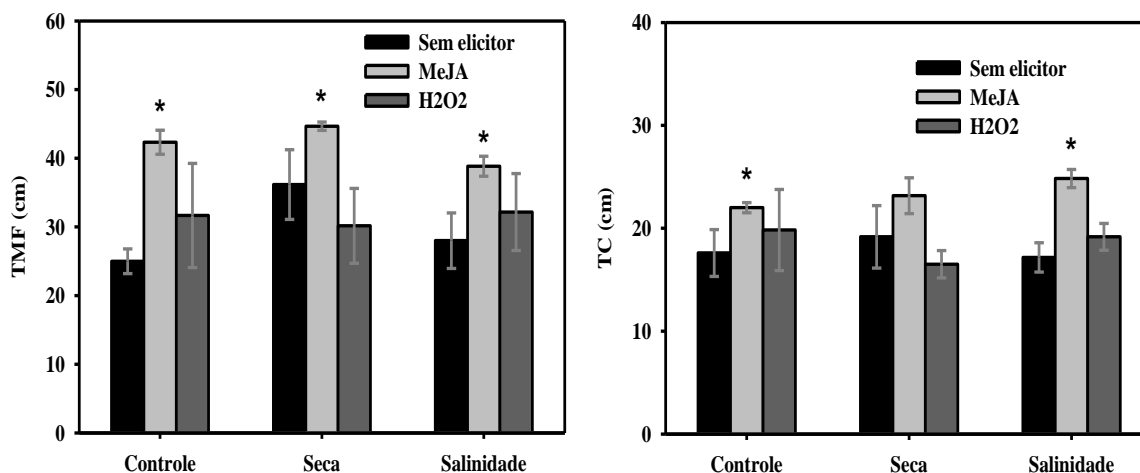


Figura 3. Biometria corresponde ao tamanho da maior folha (TMF) e ao tamanho do caule (TC) presentes nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Até o presente momento, o Metil Jasmonato gerou bom efeito de priming nas plantas, sobretudo aquelas expostas a condições de salinidade. Em cevada, o tratamento com Jasmonato aumentou a tolerância à salinidade; plantas com estresse de sal que foram tratadas com JA tinham concentrações de Na mais baixas em seus brotos do que plantas não estressadas (Walia et al. 2007). De certo, estudos preliminares mostraram que a aplicação de JA aumenta a expressão de genes de tolerância ao sal (Walia et al., 2007). Observe nas Figura 4 e 5 que os parâmetros avaliados, massa fresca da raiz e massa fresca da folha e massa fresca da parte aérea, a elicitação com MeJA proporcionou um maior peso fresco em gramas tanto para indivíduos do grupo controle, quanto para aqueles pertencentes ao grupo “salinidade”. Esses resultados são reflexos dos gráficos anteriormente apresentados e demonstram que a elicitação pelo MeJA promove um maior crescimento foliar e radicular mesmo em meio salino.

Outro resultado empolgante que se pode observar no gráfico de massa fresca da raiz é que pela primeira vez nos resultados deste experimento, o H₂O₂ apresentou uma diferença estatística significativa. Contudo essa diferença foi notada apenas nos

indivíduos controle. Já para os indivíduos pertencentes ao grupo "seca", para ambas as elicitações, nenhum resultado significativo foi notado.

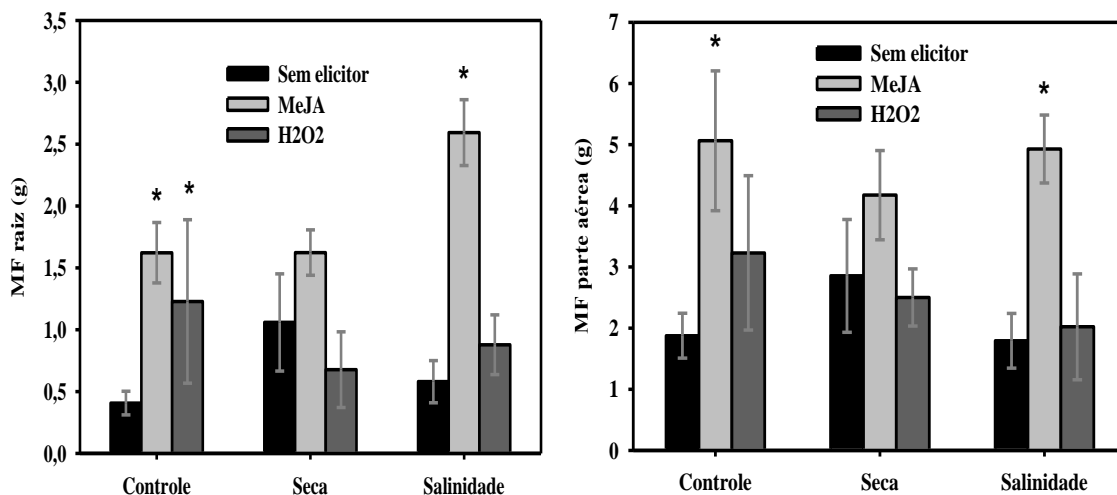


Figura 4. Massa fresca da raiz (MF raiz) e massa fresca das folhas (MF folha) mensuradas nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

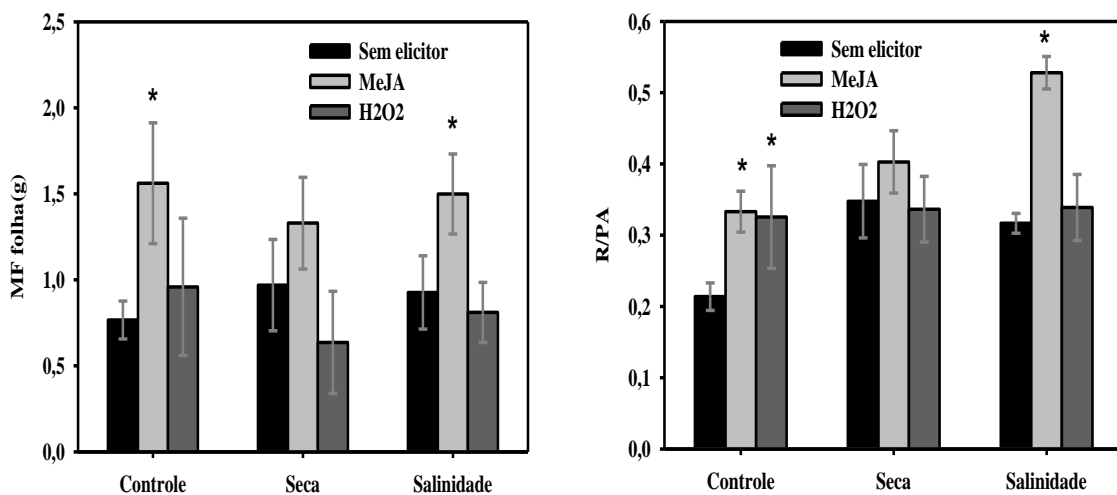


Figura 5. Massa fresca da parte aérea (MF parte aérea) e relação raiz/parte aérea (R/PA) mensuradas nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

A partir dos resultados obtidos nos gráficos acima apresentados podemos analisar outro parâmetro biométrico, a relação existente entre a massa da raiz e a parte aérea

(Figura 5). Neste caso, plantas sob condições de salinidade essa relação foi marcada devido aos resultados de maior crescimento de raiz e parte aérea vistos anteriormente. Dessa forma, a razão raiz/parte aérea foi maior para aqueles pulverizados com MeJA e expostos ao estresse salino pois a atuação desse elicitor promoveu crescimento vegetal e consequentemente reduziu os efeitos do estresse. Estresses ambientais são conhecidos por aumentar as concentrações de ácido abscísico e diminuir os hormônios indutores de crescimento na planta. Contudo, os resultados obtidos revelaram que a aplicação de MeJA pode prevenir alterações hormonais sob estresse salino. Como era de se esperar o MeJA também apresentou diferença significativa para o grupo controle. Esse resultado também foi observado para os indivíduos pulverizados com H₂O₂ sob condições ideais de cultivo e pode ser explicado devido a ação em promover crescimento radicular como visto na Figura 4.

As diferenças biométricas podem ser facilmente visualizadas ao observar as fotos das plantas do experimento em questão (Figura 6). As diferenças de crescimento pela aplicação do estresse por seca e salinidade juntamente com a pulverização dos elicitores, sobretudo do MeJA, demonstram que a aplicação de MeJA pode ter efeito no crescimento de arroz e pode promover o efeito de *priming*.

Uma vez sob estresse as plantas tendem a buscar mecanismos bioquímicos para atenuar os efeitos deletérios que esses ambientes podem ocasionar. Contudo, qualquer estratégia de sobrevivência arquitetada pelas plantas lhe custa um preço em contrapartida. Por exemplo, o fechamento estomático é uma forma eficiente achada para reduzir a perda de água pelas folhas contudo essa válvula de escape promove o aumento da formação de espécies reativas de oxigênio que atuam degradando o fotossistema (Park et al. 2016), ou seja, as moléculas de clorofila ali presentes serão degradadas e por consequência parte da eficiência fotossintética será perdida. As espécies reativas de oxigênio (ERO) são responsáveis pela degradação de membranas em geral e podem ser incitadas por diversos fatores, como a presença de Na⁺ no citosol, muito comum em casos de estresse salino (Ishikawa e Shabala, 2019). Para análise de teor de clorofila, pode-se observar na Figura 7 que a elicitação não surtiu efeito em condições normais de cultivo, contudo ao serem expostos aos estresses o H₂O₂ promoveu uma menor degradação deste pigmento em condições de estresse tanto hídrico quanto salino. Já a elicitação com MeJA apresentou resultados significativos apenas no grupo sob condições salinas.



Figura 6. Plantas de arroz aos 48 DAG no dia da coleta do experimento.

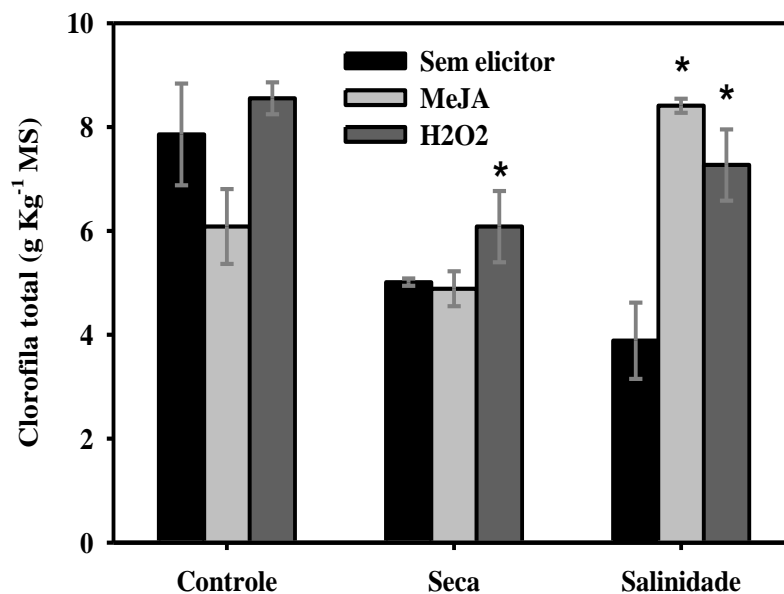


Figura 7. Teor de clorofila total nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Os carotenóides são outra classe de pigmentos foliares que atuam absorvendo luz e protegendo as moléculas de clorofila contra a oxidação por excesso de luz durante a fotossíntese. Os resultados obtidos relacionados ao teor de carotenóides demonstram que independente das condições ambientais os elicitores demonstraram ser eficazes na manutenção dos carotenóides quando comparados aqueles que não receberam a elicitação. O destaque desse resultado é para pulverização com H₂O₂ que apresentou diferenças significativas em todos os cenários propostos.

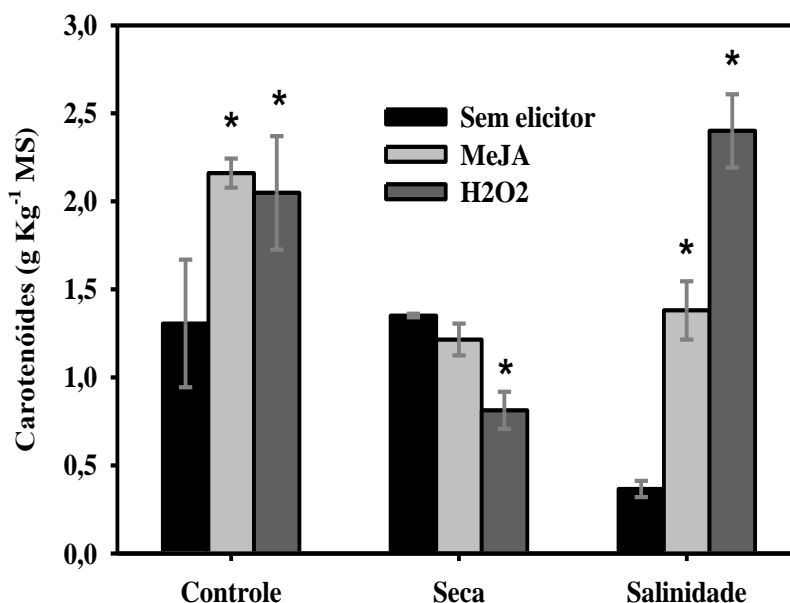


Figura 8. Teor de carotenoides nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Condições ambientais desfavoráveis, como seca e ambientes salinos, afetam o crescimento e desenvolvimento pleno das plantas e resultam em perdas de produtividade. Essas perdas são resultado de um conjunto de efeitos deletérios que ocorrem nas plantas em resposta ao ambiente inóspito. A produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) é considerada como uma resposta ao estresse oxidativo gerado durante temporadas de estresse abiótico. Essas EROs, quando em demasiada quantidade de produção, podem ser uma ameaça para as células vegetais. Contudo, sabe-se que elas agem como sinais para ativação da resposta ao estresse e caminhos de defesa (Karuppanandia et al., 2011).

De maneira geral, para determinarmos o quanto o estresse oxidativo afetou as plantas, calculamos o teor de malonaldeído presentes na mesma após exposição ao estresse estudado. Resultados que apresentam um baixo teor de malonaldeído (MDA) tem sido associado à tolerância à seca (Anjum et al., 2011). Nota-se uma menor concentração de malonaldeído nos indivíduos elicitados, tanto por MeJA quanto por H_2O_2 em condições de déficit hídrico quando comparados ao grupo controle (Figura 9). Pode-se notar também que o mesmo resultado não se repete na ausência dos tratamentos com estresse e vemos um aumento da concentração de MDA estatisticamente significativo nos indivíduos elicitados do grupo controle. Esses resultados mostram que os efeitos do *priming* respondem necessariamente a presença do estresse por seca, já que na ausência do mesmo ou em estresse salino há um aumento desse composto analisado.

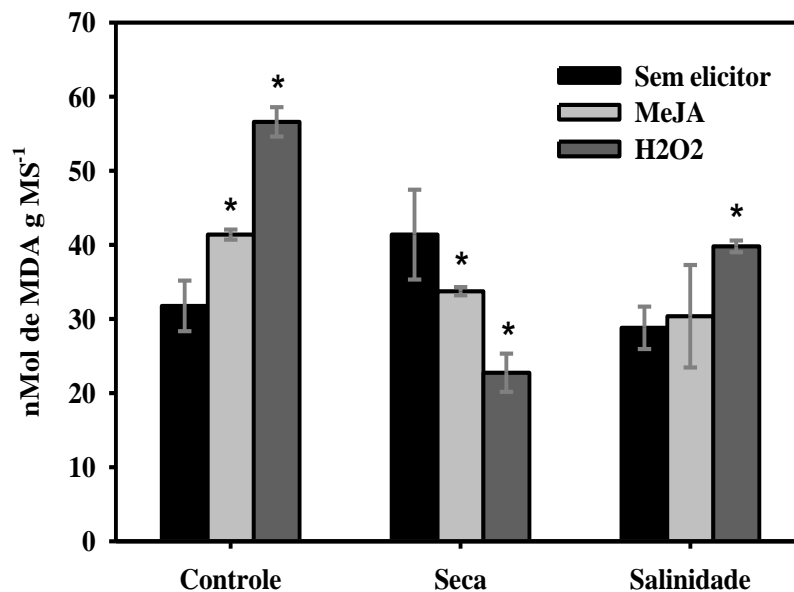


Figura 9. Concentração de MDA nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Em contrapartida, ainda relacionado ao estresse oxidativo, destaca-se a presença do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), esse composto apesar de se tratar de uma ERO, quando em pequenas concentrações é utilizado nas plantas como sinalizador intracelular, além de atuar no fechamento estomático, na expressão de genes relacionados ao crescimento e em a respostas aos estresses (Andrade, 2013). Sendo assim, pode-se observar que o MeJA promoveu um aumento na concentração de H_2O_2 em todos os tratamentos estudados e também no grupo controle (Figura 10). Já a elicitação com H_2O_2 se mostrou estatisticamente significativa em condições de salinidade como também no grupo sem estresse. A presença do H_2O_2 em grandes concentrações indica a atividade das enzimas antioxidantes que atuam reduzindo os efeitos das ERO. A concentração de Peróxido de hidrogênio também comprova que o MeJA é eficiente quando utilizado anterior aos estresses por seca e salinidade, pois sua aplicação atua nas enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX) o que promove o aumento acentuado de H_2O_2 na planta.

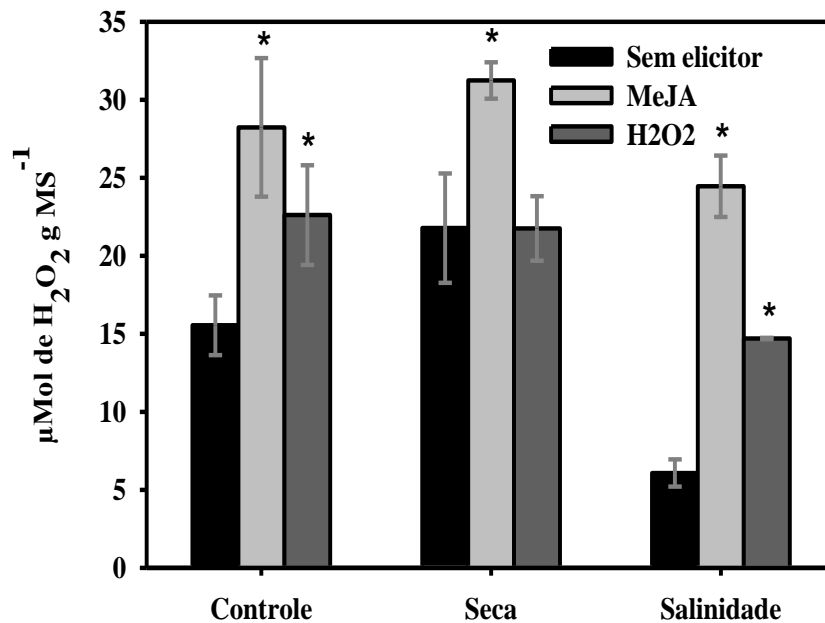


Figura 10. Concentração de H_2O_2 nas plantas de arroz estudadas, no tratamento controle e após a implantação do estresse hídrico e salino em plantas com e sem a aplicação dos elicitores. * Representa a diferença estatística entre plantas sem aplicação de elicitor e a aplicação de elicitores pelo teste LSD ($p < 0,05$).

Ambos os elicitores mostraram ter efeito sobre plantas estressadas quando aplicados em *priming*. Esses efeitos variaram entre os elicitores sendo o Metil jasmonato o elicitor que promoveu um maior crescimento de raiz e parte aérea sobretudo em ambientes de estresse. Já o H_2O_2 se destaca na manutenção ou aumento da concentração de pigmentos fotossintéticos, se mostrando sem efeitos aparentes no crescimento radicular e foliar. Já os efeitos do estresse oxidativo foram minimizados com a aplicação de ambos os elicitores e consequentemente a atividade das enzimas antioxidantes aumentou (Figura 11).

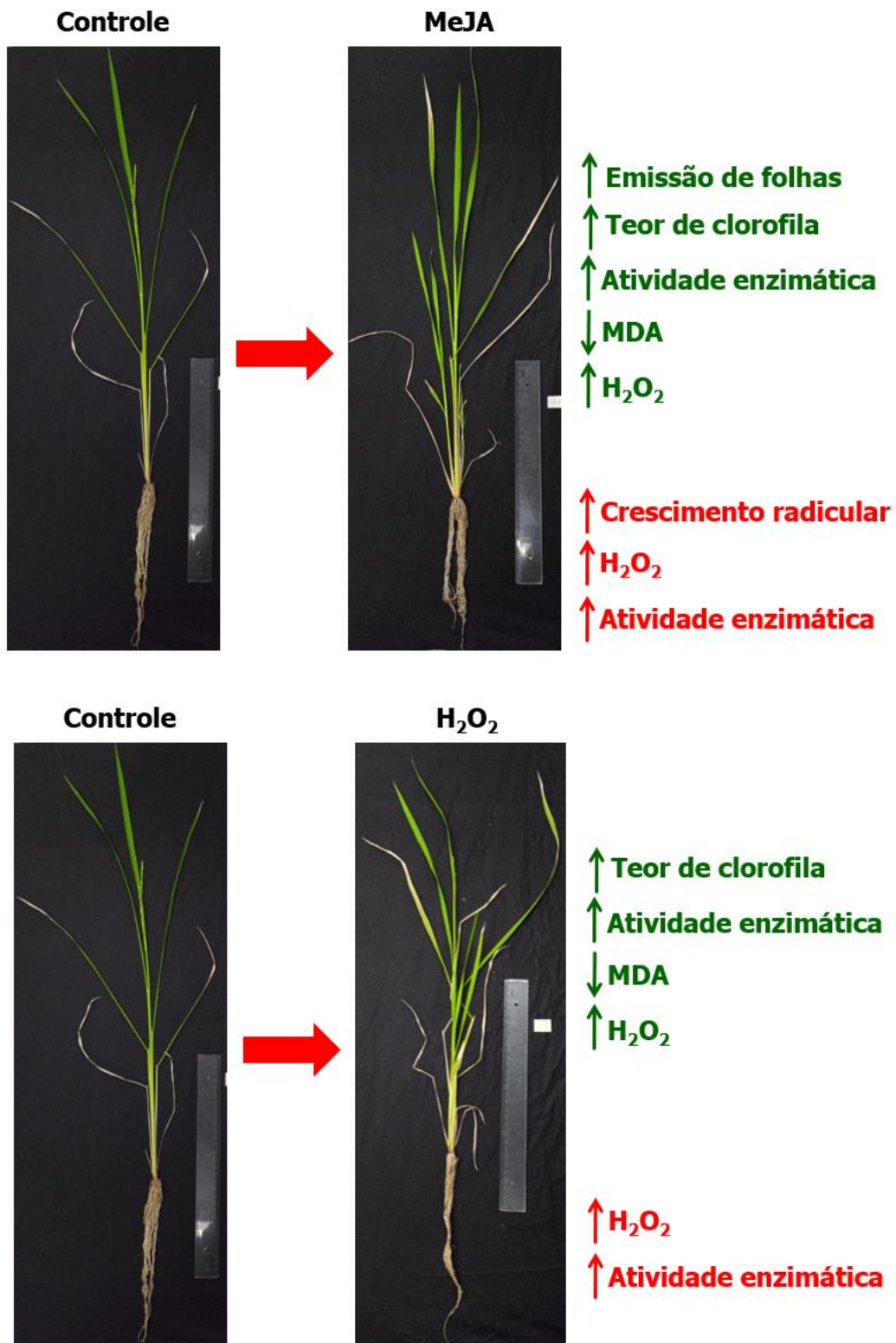


Figura 11. Esquemas dos efeitos observados nas plantas comparado com o grupo controle.

5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

	2021					2022						
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Revisão de literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Preparo de material para o experimento	X											
Condução experimento e <i>priming</i>		X	X									
Análise biométrica			X	X								
Coleta de material				X								
Maceração do material vegetal					X							
Extração de material para análise						X	X					
Determinação de pigmentos foliares						X	X					
Análise de Malonaldeído (MDA) e Peróxido de hidrogênio									X	X	X	
Preparo de material para publicação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6. CONCLUSÃO

Sob condições de estresse, sobretudo estresse salino, as plantas pulverizadas com Metil jasmonato apresentaram melhores resultados quanto a parâmetros de crescimento.

A elicitação com H₂O₂ se mostrou mais eficiente para parâmetros de pigmentação foliar, proporcionando um aumento ou manutenção das clorofilas e carotenoides presentes nas folhas em ambientes estressantes.

O efeito do uso e priming de Metil jasmonato teve uma atuação atenuada na tolerância ao estresse oxidativo e dessa forma redução do MDA, sobretudo em condições de seca. Seus efeitos positivos também foram notados no aumento da concentração de peróxido de hidrogênio que está atrelado a atividade de importantes enzimas antioxidantes.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. A. O papel do peróxido de hidrogênio na tolerância de soja (*Glicine max*) ao alagamento. 2013. 59 f. Tese de Doutorado. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2013.

AVALBAEV, Azamat et al. Exogenous methyl jasmonate regulates cytokinin content by modulating cytokinin oxidase activity in wheat seedlings under salinity. **Journal of Plant Physiology**, v. 191, p. 101-110, 2016.

ANJUM, S. A. et al. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. **Journal of agronomy and crop science**, v. 197, n. 6, p. 409-417, 2011.

BHATTACHARJEE, Soumen. The language of reactive oxygen species signaling in plants. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012.

BRIGHT, Jo et al. ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H₂O₂ synthesis. **The Plant Journal**, v. 45, n. 1, p. 113-122, 2006.

FOREMAN, Julia et al. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. **Nature**, v. 422, n. 6930, p. 442-446, 2003.

GUO, Y.-Y. et al. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. **Photosynthetica**, v. 54, n. 4, p. 524-531, 2016.

JI, Yingbin; LIU, Jian; XING, Da. Low concentrations of salicylic acid delay methyl jasmonate-induced leaf senescence by up-regulating nitric oxide synthase activity. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 17, p. 5233-5245, 2016.

KARUPPANAPANDIAN, Thirupathi et al. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 709-725, 2011.

MITTLER, Ron et al. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in plant science**, v. 9, n. 10, p. 490-498, 2004.

ISHIKAWA, Tetsuya; SHABALA, Sergey. Control of xylem Na⁺ loading and transport to the shoot in rice and barley as a determinant of differential salinity stress tolerance. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 3, p. 619-631, 2019.

PARK, Hee Jin; KIM, Woe-Yeon; YUN, Dae-Jin. A new insight of salt stress signaling in plant. **Molecules and cells**, v. 39, n. 6, p. 447, 2016.

QUAN, Li-Juan et al. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. **Journal of integrative plant biology**, v. 50, n. 1, p. 2-18, 2008.

RADMAN, Romeo et al. Elicitation of plants and microbial cell systems. **Biotechnology and applied biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 91-102, 2003.

SPERANDIO, M.V.L et al. Response of nitrate transporters and PM H⁺-ATPase expression to nitrogen flush in two upland rice varieties contrasting in nitrate uptake kinetics. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, p. 568-576, 2014.

SPERANDIO, M.V.L et al. Isoforms of plasma membrane H⁺-ATPase in rice root and shoot are differentially induced by starvation and resupply of NO₃⁻ or NH₄⁺. **Plant Science**, v. 180, p. 251-258, 2011.

WALIA, Harkamal et al. Large-scale expression profiling and physiological characterization of jasmonic acid-mediated adaptation of barley to salinity stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 4, p. 410-421, 2007.

ZHANG, Yushan et al. Mitogen-activated protein kinase 6 mediates nuclear translocation of ORE3 to promote ORE9 gene expression in methyl jasmonate-induced leaf senescence. **Journal of experimental botany**, v. 67, n. 1, p. 83-94, 2016.