

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA GOIANO**

**ISABELLY BERNARDI CABRAL**

**INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA  
PELA APLICAÇÃO DE OSMOPROTETORES E DE SINALIZADOR CELULAR**

**RIO VERDE - GO  
2023**

ISABELLY BERNARDI CABRAL

**INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA  
PELA APLICAÇÃO DE OSMOPROTETORES E DE SINALIZADOR CELULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina TCC, do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio verde, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Alan Carlos da Costa

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

CC117i Cabral, Isabelly  
Indução de tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja pela aplicação de osmoprotetores e de sinalizador celular / Isabelly Cabral; orientador Alan Carlos da Costa; co-orientador Adinan Alves. -- Rio Verde, 2023.  
25 p.

TCC (Graduação em Ciências Biológicas Bacharelado) -  
- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Soja . 2. Osmoprotetores . 3. Déficit Hídrico.  
4. Sinalizadores Celular. I. da Costa, Alan Carlos ,  
orient. II. Alves, Adinan, co-orient. III. Título.

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

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

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:      Não      Sim, justifique:

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


O documento está sujeito a registro de patente?      Sim      Não

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

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.


Documento assinado digitalmente  
 ISABELLY BERNARDI CABRAL  
Data: 11/12/2023 10:09:43-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local      /      /  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 ALAN CARLOS DA COSTA  
Data: 12/12/2023 10:44:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 24 dias do mês de novembro de dois mil e vinte e três, às 13:30 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Alan Carlos da Costa (orientador), Dr. Adinan Alves da Silva, Dra. Luciana Minervina de Freitas Moura e pesquisador Mestre Igor Eli da Silva para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “Indução de tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja pela aplicação de osmoprotetores e de sinalizador celular” de Isabelly Bernardi Cabral, estudante do curso de Ciências Biológicas, Bacharelado do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2020102230540039. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO, da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Mediador de TC.

Rio Verde, 24 de novembro de 2023.

(Assinado Eletronicamente)

Alan Carlos da Costa

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Adinan Alves da Silva

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Luciana Minervina de Freitas Minervina

Membra

(Assinado Eletronicamente)

Igor Eli da Silva

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Adinan Alves da Silva, 2022202344060002 - Discente, em 14/12/2023 10:21:56.
- Luciana Minervina de Freitas Moura, 2022202344060003 - Discente, em 14/12/2023 09:54:25.
- Igor Eli da Silva, 2021202320140004 - Discente, em 13/12/2023 22:01:32.
- Alan Carlos da Costa, PRO-REITOR(A) - CD0002 - PROPPI-REI, em 13/12/2023 21:57:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 556948

Código de Autenticação: e6f5f3ce2f



**Dedico este trabalho à minha família.**

## **AGRADECIMENTOS**

Eu gostaria de agradecer primeiramente a Deus por proporcionar essa oportunidade de ter chegado até aqui. Agradecer a minha família e amigos pelo apoio. Agradecer as pessoas que conheci no caminho e me ensinaram e agregaram na minha formação. E agradecer ao meu orientador por guiar o meu conhecimento.



## RESUMO

### CABRAL, ISABELLY BERNARDI. INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA PELA APLICAÇÃO DE OSMOPROTETORES E DE SINALIZADOR CELULAR

2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano- Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2023.

Este estudo avaliou o potencial de diferentes substâncias exógenas para aumentar a tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja (*Glycine max*). Diante da relevância da produção de soja no cenário agrícola nacional e internacional, especialmente em face das mudanças climáticas, o trabalho investigou como eventos climáticos extremos, como secas, afetam o crescimento e desenvolvimento da soja.

O experimento foi conduzido em condições controladas, utilizando o cultivar "Brasmax Valente RR (6968 RSF)". Dois tratamentos hídricos foram aplicados, condições normais e de déficit hídrico. Além disso, foram testadas formulações contendo prolina, glicina-betaína, potássio e óxido nítrico em diferentes concentrações para mitigar os efeitos do estresse hídrico nas plantas.

Os resultados indicaram que as formulações, especialmente a F3, foi mais eficaz em manter o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água nas folhas das plantas sob condições de déficit hídrico. Demonstrando impactos positivos nas trocas gasosas, condutância estomática e transporte de elétrons, contribuindo para a manutenção da fotossíntese mesmo sob estresse hídrico.

**Palavras-chave:** Glicina Betaína, fotossíntese, fluorescência, nitroprussiato de sódio, óxido nítrico, prolina.

## ABSTRACT

CABRAL, ISABELLY BERNARDI. **INDUCTION OF DROUGHT TOLERANCE IN SOYBEAN PLANTS THROUGH THE APPLICATION OF OSMOPROTECTANTS AND CELL SIGNALING AGENTS**. 2023. Final Course Work (Undergraduate) - Bachelor's Degree in Biological Sciences. Instituto Federal Goiano - Rio Verde Campus, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2023.

This study assessed the potential of different exogenous substances to increase drought tolerance in soybean plants (*Glycine max*). Given the significance of soybean production in the national and international agricultural scenario, particularly in the context of climate change, the research investigated how extreme climatic events, such as droughts, affect the growth and development of soybeans.

The experiment was conducted under controlled conditions using the cultivar "Brasmax Valente RR (6968 RSF)". Two water treatments were applied: normal conditions and water deficit. Additionally, formulations containing proline, glycine-betaine, potassium, and nitric oxide at different concentrations were tested to mitigate the effects of water stress on plants.

The results indicated that the formulations, especially F3, were more effective in maintaining water potential and relative water content in the leaves of plants under water deficit conditions. This demonstrated positive impacts on gas exchange, stomatal conductance, and electron transport, contributing to the maintenance of photosynthesis even under water stress.

**Keywords:** Glycine Betaine, photosynthesis, fluorescence, sodium nitroprusside, nitric oxide, proline.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Objetivos gerais.....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Material vegetal, condições experimentais e tratamentos.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Detalhamento das avaliações .....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Potencial hídrico e osmótico e conteúdo relativo de água foliar .....	12
3.2.2 Trocas gasosas.....;	12
3.2.3 Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	12
3.2.4 Concentração de pigmentos cloroplastídicos.....	12
3.2.5 Análises Biométricas.....	12
3.2.6 Temperatura foliar.....	12
3.2.7 Desenho experimental e análises estatísticas.....	12
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>6 REFERÊNCIA.....</b>	<b>19</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de soja (*Glycine max* [L.] Merrill) desempenha papel fundamental na agricultura nacional e internacional. A soja é considerada uma das principais oleaginosas do mundo. O IBGE prevê safra de 308,5 milhões de toneladas para 2024 (IBGE, 2023) Contudo, semelhante ao que ocorre para outras culturas, o potencial produtivo da soja pode ser seriamente comprometido por eventos climáticos extremos (Almeida, 2019).

As mudanças nos padrões climáticos e a maior demanda por recursos hídricos têm intensificado a ocorrência de secas em diversos países nos últimos anos (Baudoin *et al.*, 2017; Martin *et al.*, 2020; Naumann *et al.*, 2021). Períodos extensos de seca podem causar reduções significativas no crescimento e desenvolvimento da planta (Basu *et al.*, 2016; ABID *et al.*, 2018), por afetar a atividade fotossintética, promovendo efeito no processo de abertura e fechamento dos estômatos (Costa *et al.*, 2015) e, conseqüentemente, impactar a produção agrícola.

A seca ou a deficiência contínua de água é um dos fatores mais importantes que afetam o crescimento, o desenvolvimento, a sobrevivência e a produtividade das culturas (Suzuki *et al.*, 2014 e Zlobin *et al.*, 2018). Além disso, em condições de déficit hídrico, ocorre comprometimento de diversos processos no metabolismo vegetal (Júnior, *et al.*, 2018). Dentre os impactos do déficit hídrico em plantas, destaca-se o decréscimo no turgor celular, que é essencial nos processos de crescimento e desenvolvimento (Mattos Filho *et al.*, 2020), além de alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, com prejuízos ao transporte e absorção de água e nutrientes, resultando em risco à sobrevivência do vegetal (Osmolovskaya *et al.*, 2018; Júnior, *et al.*, 2018).

As alterações na maquinaria fotossintética em decorrência das condições de seca, induzem à um aumento na energia de excitação, interrompendo o equilíbrio entre produção e eliminação de espécies reativas de oxigênio (Sreeharsha *et al.*, 2019). Déficit hídrico no início do ciclo da cultura da soja, leva à ocorrência de plantas com pequena estatura, entrenós curtos e isso pode ser refletir em perdas na produtividade (Ferrari *et al.*, 2015).

O acúmulo de espécies reativas de oxigênio, tais como peróxido de hidrogênio e de oxigênio singleto, ocasiona o estresse oxidativo e o agravamento da peroxidação de lipídeos de membrana, assim como a degradação de moléculas de

proteínas (Mittler, 2002; Wang *et al.*, 2017). Como forma de minimizar o efeito do déficit hídrico em plantas, o óxido nítrico, se destaca nesse processo, através da transdução de sinais e estímulo a mecanismos de respostas que alteram o metabolismo fisiológico e bioquímico das plantas (Santisree *et al.*, 2015).

Existem várias vias possíveis para a síntese de óxido nítrico em plantas, entre elas, as dependentes da atividade da redutase do nitrato e da sintase do óxido nítrico, as quais são moduladas pela concentração de óxido nítrico (Hao *et al.*, 2008; Bai *et al.*, 2016). A aplicação exógena de doadores de óxido nítrico, por exemplo, o nitroprussiato de sódio (SNP), tem efeito protetor contra o estresse por seca, pela redução de danos celulares e manutenção do crescimento vegetal (Domingos *et al.*, 2015; Hasanuzzaman *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2020).

Além do papel do óxido nítrico como sinalizador do estresse hídrico em plantas, ele também regula diferentes processos fisio-bioquímicos e de desenvolvimento das plantas, como crescimento da raiz e da parte aérea, relações hídricas, regulação floral, germinação de sementes, fotossíntese, condutância estomática (Dong *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2015; Habib *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015; Fan *et al.*, 2013). Em plantas que apresentam ajustamento osmótico, a turgidez celular é mantida mesmo com a redução do conteúdo relativo de água, permitindo a planta crescer, ainda que sob escassez de água (Blum *et al.*, 2017). A prolina e a glicina-betaína são dois metabólitos celulares amplamente reconhecidos por seu importante papel no ajustamento osmótico celular.

A prolina é um metabólito que atua como antioxidante e osmoprotetor de estruturas celulares, como as membranas (Sadak *et al.*, 2019). A glicina betaína (GB) é um composto orgânico que ajuda as plantas a lidar com o estresse hídrico. Ela é um osmoprotetor que ajuda a manter a pressão osmótica dentro das células vegetais, protegendo-as da desidratação excessiva durante períodos de déficit hídrico. Porém, há algumas evidências mostrando que a soja é normalmente um baixo acumulador de GB (Agboma *et al.*, 1997). Assim, como alternativa, a aplicação foliar de glicina-betaína em plantas não acumuladoras pode ser uma abordagem possível para induzir respostas de tolerância ao estresse por déficit hídrico. Ademais, A glicina-betaína auxilia no ajustamento osmótico e na estabilização de proteínas, incluindo a RUBISCO, protegendo o aparato fotossintético da planta e eliminando as EROs (Wani *et al.*, 2019; Ilyas *et al.*, 2021).

Por último, o fosfito de potássio é um composto químico utilizado na agricultura que inicialmente foi proposto como protetor contra fungos, mas estudos descobriram

o potencial como bioestimulante e indutor de tolerância contra estresses abióticos (Gómez *et al.*, 2015). Ele mitiga o estresse déficit hídrico, maximizando os processos fisiológicos envolvidos na manutenção do turgor e aumentando o metabolismo antioxidante (Batista *et al.*, 2020). Além disso, foi relatado que o fosfito de potássio alivia os efeitos nocivos do estresse na maquinaria fotossintética (Oyarburo *et al.*, 2015; Ma *et al.*, 2017). Ele mitiga os efeitos do déficit hídrico através da maximização dos processos fisiológicos envolvidos na manutenção do turgor e aumento do metabolismo antioxidante (Batista *et al.*, 2020)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Avaliar o potencial de diferentes substâncias exógenas para o aumento da tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Avaliar o efeito de soluções contendo prolina, glicina-betaína, nitroprussiato de sódio e fosfito de potássio, em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico;
- b) Avaliar o status hídrico das plantas de soja sob condições de déficit hídrico tratadas com diferentes formulações químicas;
- c) Determinar os efeitos das formulações no processo fotossintético de plantas de soja sob déficit hídrico;
- d) Avaliar a biometria e a temperatura foliar das plantas de soja diante do déficit hídrico e aplicação das formulações.

## **3 MATERIAL E METODOS**

### **3.1 Material vegetal, condições experimentais e tratamentos.**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Foram utilizadas plantas de soja do cultivar “Brasmax Valente RR (6968 RSF)”. As sementes foram plantadas em sementeiras contendo areia lavada e 7 dias após a germinação, três plantas foram transplantadas para cada vaso contendo 10 litros de solo do tipo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). Baseando na análise físico-química, o solo foi corrigido quanto à saturação de bases utilizando Calcário Agrícola. A adubação foi realizada conforme a análise do solo e recomendação para a cultura.

Quando as plantas alcançaram o estágio R1 (Início do florescimento) da fase reprodutiva, sendo os seguintes tratamentos hídricos foram impostos: 1) 90% da

capacidade de campo (CC) do solo para plantas bem irrigadas; 2) 50% da capacidade de campo (CC) do solo para plantas sob déficit hídrico. Os tratamentos hídricos foram implementados pela reposição diária da água perdida via evapotranspiração do sistema solo-planta. O acompanhamento diário do conteúdo volumétrico de água do solo (CVA) ( $\text{m}^3$  água/ $\text{m}^3$  solo) foi feito com um sensor de umidade de 10 cm de profundidade. Os resultados do CVA foram utilizados para cálculo da CC do solo.

No mesmo dia da imposição do déficit hídrico, foram realizadas as aplicações das formulações sobre plantas bem irrigadas (controle) e sob déficit hídrico. As três (3) formulações foram: 1) prolina: 10 mM + glicina-betaína (GB): 20 mM + nitroprussiato de sódio (SNP-doador de óxido nítrico):  $50\mu\text{M}$  + fosfito de potássio:  $0,5 \text{ l/ha}^{-1}$ ; 2) prolina: 20 mM + GB: 50 mM + SNP:  $100 \mu\text{M}$  + fosfito de potássio:  $1 \text{ l/ha}^{-1}$ ; 3) prolina: 30 mM + GB: 100 mM + SNP:  $200 \mu\text{M}$  + fosfito de potássio:  $1,5 \text{ l/ha}^{-1}$ . Adicionalmente às aplicações das formulações, dois tratamentos com plantas bem irrigadas e sob déficit hídrico apenas com a aplicação de água (controles) foram implementados.

As aplicações foram realizadas utilizando um pulverizador costal (Herbicat® Catanduva, Brasil) com pressão constante mantida por  $\text{CO}_2$  comprimido ( $5 \text{ kgf cm}^{-2}$ ), munido de barra com quatro pontas de pulverização e bicos tipo leque (Teejet, modelo XR110/02VP) que forneceram  $250 \text{ L ha}^{-1}$ . A aspersão foi realizada no período da tarde, mantendo a barra 0,5 m acima do topo das plantas. Aos 10 dias após a imposição do déficit hídrico e aplicação das formulações foram realizadas as avaliações detalhadas no tópico 3.2. Neste momento, das 3 plantas no vaso, uma foi utilizada para análises fisiológicas não destrutivas e coleta de folhas para análises destrutivas, e uma outra planta para análises de biometria e acúmulo de biomassa.

## **3.2 Detalhamento das avaliações**

### **3.2.1 Potencial hídrico e osmótico e conteúdo relativo de água foliar**

O potencial hídrico foliar foi medido na antemanhã, por meio da câmara de pressão do tipo Scholander. O conteúdo relativo de água (CRA) das folhas foi obtido mediante a pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) de 10 discos foliares de  $0,5 \text{ cm}^2$  de diâmetro, e calculado pela fórmula:  $\text{CRA} = (\text{MF} - \text{MS}) / (\text{MT} - \text{MS}) \times 100\%$ . Para obtenção do potencial osmótico, amostras previamente congeladas de folhas foram comprimidas até liberação de seiva, a qual foi avaliada em um osmômetro de pressão de vapor.

### **3.2.2 Trocas gasosas**

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas

fotossintética [ $A$ ,  $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] e transpiratória [ $E$ ,  $\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ], da condutância estomática [ $g_s$ ,  $\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ], e da relação entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ). Estas avaliações foram realizadas utilizando-se um analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA) modelo LI6800 (Li-Cor, Nebraska, EUA), no horário entre 08h e 11h, em folha completamente expandida.

### **3.2.3 Fluorescência da clorofila *a***

As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram avaliadas utilizando o IRGA, concomitantemente às medições das trocas gasosas. Foram avaliados o rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m = [F_m - F_0]/F_m$ ) e efetivo ( $Y_{ii} = [F_m' - F]/F_m'$ ) de conversão fotoquímica de energia no PSII. A partir desses dados foi calculado taxa aparente de transporte de elétrons ( $ETR = \Delta F/F_m' \cdot PAR \cdot 0,84 \cdot 0,5$ ).

### **3.2.4 Concentração de pigmentos cloroplastídicos**

A concentração dos pigmentos cloroplastídicos em discos foliares (clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides totais) foi determinada por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO), e leitura da solução nos comprimentos de onda de 480, 649 e 665 nm. Os cálculos para determinação da concentração dos pigmentos foram realizados conforme descrito por Wellburn (1994) e os resultados expressos em  $\mu\text{g m}^{-2}$  de folha.

### **3.2.5 Análises Biométricas**

As plantas foram mensuradas para a determinação das seguintes variáveis biométricas: altura da planta (m), que foi medida utilizando uma régua; número de folhas e flores, determinado por contagem direta e diâmetro do caule (mm), mensurado com o auxílio de um paquímetro.

### **3.2.6 Temperatura Foliar**

A temperatura foi medida nas folhas utilizando um termômetro.

### **3.2.7 Desenho experimental e análises estatísticas**

O delineamento experimental utilizado foi do tipo inteiramente casualizado, sendo uma cultivar de soja, duas reposições hídricas (controle e déficit hídrico) e três aplicações (3 formulações do composto químico e água) que foram aplicadas apenas nas plantas sob déficit hídrico, contabilizando 5 tratamentos, sendo eles: controle, DH + F1 (Déficit hídrico com aplicação da formulação 1), DH+F2, DH+F3, e plantas em déficit hídrico sem aplicação (controle negativo). Todos esses 5 tratamentos foram realizados 5 repetições, totalizando em 25 vasos de soja experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, utilizando o



software estatístico SISVAR (versão 5.6)

#### 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como é possível observar na tabela 1, o potencial hídrico foliar foi maior para as plantas em que o déficit foi imposto e receberam aplicação das formulações. O potencial hídrico é a principal força motriz para transportar água das raízes para as folhas (Robbins *et al.*, 2015). Isso significa que os produtos aplicados mantiveram o potencial hídrico da planta elevado mesmo sob déficit hídrico, ou seja, elas mantiveram maior nível de hidratação de suas folhas, tendo destaque a formulação 2, que obteve o maior potencial hídrico. Além disso, os valores para conteúdo volumétrico de água (CVA) no solo mostraram-se diferentes. Isso aconteceu por que as plantas controle foram mantidas com uma capacidade de campo maior que as plantas em déficit hídrico, logo, receberam mais água e portanto, apresentaram maior CVA do solo.

**Tabela 1.** Potencial hídrico foliar e conteúdo volumétrico de água (CVA) do solo de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse

Tratamentos	Potencial hídrico ( $\psi_w$ , MPa)	CVA ( $m^3/m^3$ )
Controle	-0,24± 0,018	0,321 ± 0,004A
DH	-0,18±0,025	0,229 ± 0,027B
DH+F1	-0,16± 0,024	0,221 ± 0,020B
DH+F2	-0,12± 0,020	0,238 ± 0,015B
DH+F3	-0,20±0,079	0,214 ± 0,026B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias ± EP (n = 5)

Embora solutos osmoticamente ativos como a prolina e a glicina-betaina influenciem no potencial osmótico da planta (Cordeiro *et al.*, 2017), os resultados da análise de potencial osmótico das plantas de soja não foram alterados de forma significativa. Porém, podemos afirmar que o resultado do potencial hídrico para as plantas em déficit que receberam a aplicação da formulação 3 foram as que mais se assemelharam as plantas controle.

**Tabela 2.** Potencial osmótico foliar de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Potencial Osmótico ( $\Psi_s$ , Mpa)
Controle	-0,922±0,017
DH	-0,962±0,069
DH+F1	-0,954±0,042
DH+F2	-0,960±0,017
DH+F3	-0,942±0,035

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias  $\pm$  EP (n = 5)

A medida que o déficit hídrico se intensifica o conteúdo relativo de água na folha diminui (Langaro *et al.*, 2014). Diante dos resultados obtidos, podemos observar que as plantas que receberam a aplicação da formulação 3 tiveram a maior porcentagem para o conteúdo relativo de água, ou seja, os compostos conseguiram manter a água da planta mesmo sob déficit hídrico.

**Tabela 3.** Conteúdo relativo de água de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Conteúdo relativo de água (%)
Controle	70,7238 $\pm$ 1,424A
DH	79,2944 $\pm$ 1,277B
DH+F1	79,2108 $\pm$ 1,511B
DH+F2	80,5797 $\pm$ 0,868B
DH+F3	81,7428 $\pm$ 4,532B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias  $\pm$  EP (n = 5)

As plantas sob déficit hídrico possuem uma estratégia de diminuir a absorção de luz para evitar a fotooxidação e danos durante condições de estresse (Buezo *et al.*, 2019) porém, foi observado diferença significativa entre os tratamentos para variável taxa fotossintética (A) (tabela 4), de forma que mais uma vez, as plantas em déficit hídrico que receberam a aplicação da formulação de número 3, tiveram os melhores resultados para A. Assim como para a taxa transpiratória (E), que apresentaram maiores valores para as plantas controle seguidas da formulação F3. Isso é muito benéfico para planta pois a transpiração ajuda a regular a temperatura da folha e manter a temperatura ideal da folha, o que é fundamental para várias atividades metabólicas da planta (Liu *et al.*, 2003)

A relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) foi maior no controle e nas plantas sob déficit hídrico e formulação 3, em detrimento das plantas sob déficit e aplicação da formulação 1, 2 e o déficit sem aplicação. A relação Ci/Ca elevada aumenta o crescimento vegetal, a produtividade de grãos e o teor de nutrientes (Sahoo *et al.*, 2017; Bhattacharyya *et al.*, 2015; Roy *et al.*, 2012) . Assim podemos perceber que o déficit hídrico, causa redução na concentração de CO<sub>2</sub> intracelular, além de afetar o transporte de elétrons e a fotofosforilação (Catuchi *et al.*, 2011; Mesquita *et al.*, 2020), mas a formulação 3 conseguiu manter a concentração do gás garantindo que ela tivesse resultados similares as plantas controle.

Por último, a condutância estomática (gs) pode ser um indicador da deficiência de água na planta, por isso observamos que as plantas controles que foram as mais irrigadas, possuem a maior gs. As plantas de soja sob seca geralmente apresentam fotossíntese líquida reduzida devido à diminuição da condutância estomática (Mesquita *et al.* , 2020). Apesar de afetar negativamente o desempenho fotossintético, a redução de gs , está intimamente associada ao menor potencial hídrico, que pode representar um mecanismo de prevenção de estresse. A F3 gerou resultados interessantes ao aumentar a gs das plantas em déficit hídrico. Ainda, é possível notar que as formulações 1 e 2 também trouxeram efeitos positivos contra o déficit, em comparação àquelas sem aplicação, mas em menor grau, provavelmente devido as menores concentrações dos compostos de indução de tolerância nas suas formulações .

Relacionando, os dados de *A* e *E* foram maiores também para controle e formulação 3 por que as variáveis estão ligadas. Além disso, a formulação 3 merece destaque pois auxiliou as plantas em déficit a manterem seus estômatos mais abertos e realizarem fotossíntese mesmo sob estresse, o que consequentemente melhora a produtividade final da soja. A regulação da abertura estomática é uma estratégia para prevenir a desidratação das plantas através da perda de água na atmosfera (Henry *et al.*, 2019)

**Tabela 4.** Taxa fotossintética (*A*), taxa transpiratória (*E*), relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) e condutância estomática (*gs*) de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	E ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Ci/Ca	gs ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
Controle	15,679 $\pm$ 0,764AB	11,2279 $\pm$ 0,380A	0,8954 $\pm$ 0,007A	0,9344 $\pm$ 0,061A
DH	13,5113 $\pm$ 0,763AB	3,4342 $\pm$ 0,664B	0,6349 $\pm$ 0,060C	0,1992 $\pm$ 0,044C
DH+F1	12,7979 $\pm$ 1,261B	3,8144 $\pm$ 0,906B	0,7032 $\pm$ 0,037BC	0,2378 $\pm$ 0,070C
DH+F2	14,3700 $\pm$ 0,748AB	4,4255 $\pm$ 0,544B	0,7234 $\pm$ 0,028BC	0,2661 $\pm$ 0,044C
DH+F3	16,8292 $\pm$ 0,711A	8,1840 $\pm$ 0,972A	0,827 $\pm$ 0,0178AB	0,5666 $\pm$ 0,105B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias  $\pm$  EP (n = 5)

Como apresentado na tabela 5, a taxa de transporte de elétrons (ETR) teve seus melhores resultados para as plantas em déficit hídrico com formulação 3, isso significa que elas superaram até mesmo as plantas controle. As DH, Controle e DH+F2 não se diferenciaram estatisticamente e as plantas DH+F1 foram as que tiveram a menor ETR. Isso acontece por que a seca geralmente resulta em uma fotossíntese líquida reduzida devido a diminuição da condutância estomática (Mesquita *et al.*, 2020), afetando o transporte de elétrons e fotofosforilação (Catuchi *et al.*, 2011; Mesquita *et al.*, 2020). Além disso, reduzir a ETR é uma estratégia para diminuir os danos fotooxidativos em plantas em que a fixação de CO<sub>2</sub> está comprometida. (Yamori *et al.*, 2016). A aplicação do Nitroprussiato de Sódio também contribui com esses resultados por que ele é o único doador de NO capaz de estimular o transporte de elétrons durante a fase fotoquímica da fotossíntese (Procházková *et al.*, 2013; Antoniou *et al.*, 2020)

O comportamento do Y<sub>II</sub> é muito semelhante ao do ETR, por isso é possível perceber que os resultados mais efetivos foram observados para os mesmos tratamentos, além disso as variáveis estão completamente ligadas, onde a ETR é afetada, indiretamente o Y<sub>II</sub> também foi (Baker E Rosenqvist 2004). A baixa da taxa de transporte de elétrons sugere processos de fotoinibição resultantes de estresse ambientais, que nesse caso seria o déficit hídrico (Ogren and Sjostrom, 1990), concluindo que esse fator pode explicar a baixa eficiência do Y<sub>II</sub> (Maxwell and Johnson, 2000).

Os resultados para o rendimento quântico potencial (Fv/Fm) não se diferiram estatisticamente, devido à similaridade dos resultados.

**Tabela 5.** Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y<sub>II</sub>), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) e rendimento quântico potencial (Fv/Fm) de plantas de

soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Y <sub>II</sub>	ETR	Fv/Fm
Controle	0,129±0,007AB	82,161± 5,015AB	0,800± 0,003
DH	0,104± 0,010AB	66,265±6,353AB	0,8024± 0,001
DH+F1	0,087± 0,017B	55,401± 11,025B	0,7984± 0,004
DH+F2	0,117±0,006AB	74,514± 4,243AB	0,793±0,008
DH+F3	0,139±0,010A	88,054±6,639A	0,789±0,005

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias ± EP (n = 5)

O déficit hídrico na planta pode ser analisado a partir das características biométricas das cultivares (Oliveira *et al*, 2016). Os resultados das variáveis: número de flores, diâmetro de caule e número de folhas não apresentaram diferenças significativas. Por outro lado, a aplicação da formulação 3 mostrou um crescimento na altura das plantas em relação aos demais tratamentos com déficit hídrico, de forma a não diferir estatisticamente dos valores das plantas controle. Plantas que passam por um déficit hídrico no início do seu ciclo tendem a ter menores estaturas (Ferrari *et al.*, 2015). Isso significa que houve a mitigação do déficit hídrico com a aplicação desta formulação, ajudando fisiologicamente as plantas de soja a continuarem crescendo, mesmo sob estresse. As outras formulações não tiveram diferença significativa entre si, nem em comparação ao tratamento com déficit hídrico e sem aplicação (DH).

**Tabela 6.** Análises biométricas: número de flores e folhas, altura da planta e diâmetro do caule de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Nº Flores	Altura (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Nº Folhas
Controle	3,4 ± 1,077	62,34±0,639A	6,0 ± 0,316	50,4±0,639
DH	1,8 ± 1,2	52,16±3,341B	5,8±0,374	45±3,341
DH+F1	0 ± 0	49,66±0,805B	5,6±0,244	47,8±0,805
DH+F2	1,4±0,871	50,22±1,922B	5,4±0,244	44±1,922
DH+F3	3,4± 0,748	59,92±2,029A	6,2 ± 0,2	47,8±2,029

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias ± EP (n = 5)

A diminuição na concentração dos pigmentos pode surgir devido a danos na estrutura dos cloroplastos e na síntese de clorofila, resultantes de condições de déficit hídrico (Saeidi e Abodoli., 2015). Porém nesse caso, conforme apresentado na tabela 7, os valores para clorofila a, clorofila b e para os carotenóides não apresentaram alterações significativas diante dos tratamentos. Isso aconteceu por que os valores apresentados foram muito similares um dos outros.

**Tabela 7.** Concentrações de pigmentos cloroplastídicos : clorofila a , clorofila b e carotenóides de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Clorofila a	Clorofila b	Carotenóides
Controle	25,243 ± 4,077	9,148± 0,970	6,142 ± 0,678
DH	27,335 ± 1,543	8,490±0,578	6,407 ± 0,471
DH+F1	27,560 ± 2,697	8,963 ± 0,560	6,621 ± 0,555
DH+F2	29,159 ± 3,098	9,821± 0,761	7,544 ± 0,628
DH+F3	27,280 ± 2,23	8,873± 0,634	6,753 ± 0,395

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias ± EP (n = 5)

Conforme apresentado na tabela 8, os resultados para temperatura foliar não foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

**Tabela 8.** Temperatura foliar (°C) de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com e sem a aplicação de compostos químicos para mitigação do estresse.

Tratamentos	Temperatura foliar (°C)
Controle	20,44 ± 0,496
DH	21,78 ± 0,096
DH+F1	21,62 ± 0,666
DH+F2	21,76 ± 0,550
DH+F3	21,02 ± 0,397

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (0,05). Os dados são médias ± EP (n = 5)

## 5 CONCLUSÃO

Os compostos acarretaram mudanças fisiológicas benéficas para as plantas de soja sob déficit hídrico, atendendo ao objetivo desse estudo de encontrar compostos que mitigassem o estresse. Notou-se que a aplicação dos compostos químicos

realmente contribuíram para a alívio do estresse nas plantas de soja, uma vez que os resultados das análises mostraram que plantas em déficit com aplicação das formulações em alguns casos, assemelhavam-se com aqueles das plantas controle.

Assim, a formulação 3, a qual era composta de prolina: 30 mM + GB: 100 mM + SNP: 200 µM + fosfito de potássio: 1,5 l/ha<sup>-1</sup> foi a que apresentou os melhores resultados, demonstrando uma eficácia maior em induzir tolerância na soja, diante do nível de déficit hídrico a que foram expostas.

## 7 REFERÊNCIAS

Abid, M., Ali, S., Qi, L.K. et al. **Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.)**. Sci Rep 8, 4615. 2018.

Almeida, G. M. **Aspectos fisiológicos, anatômicos e produtivos em plantas de soja sob duas condições de irradiância e umidade do solo**. Dissertação.2019

Almeida, G. M, Alves A.S. **Sulfeto de hidrogênio, fosfito de potássio e sulfato de zinco como aliviadores do estresse por seca em plantas de girassol**.Agricultural Sciences Ciênc. agrotec. 44 ,2020.

Anderson JE, Kono TJ, Stupar RM, Kantar MB, Morrell PL. **Environmental Association Analyses Identify Candidates for Abiotic Stress Tolerance in Glycine soja, the Wild Progenitor of Cultivated Soybeans. G3 (Bethesda)**.Apr 7;6(4):835-43. doi: 10.1534/g3.116.026914. PMID: 26818076; PMCID: PMC4825654. 2016

Anderson, M. C., Zolin, C. A., Sentelhas, P. C., Hain, C. R., Semmens, K., Yilmaz, M. T., Tetrault, R.**The Evaporative Stress Index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. Remote Sensing of Environment**, 174, 82-99. 2016

Antoniou, C. et al. **Exploring the potential of nitric oxide and hydrogen sulfide (NOSH)-releasing synthetic compounds as novel priming agents against drought stress in *Medicago sativa* plants**. Biomolecules, 10(1):120, 2020

Araújo, S. A. Do C.; Deminicis, B. B. **Fotoinibição da Fotossíntese. Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 7, n. 4. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114899>. 2009

Arias, C.A.; Oliveira M.F De; Pípolo A. E.; Carneiro, G.S.; Ubirajara, J.; Kaster, M.

**Desenvolvimento de cultivares de soja com tolerância à deficiência hídrica.** Simpósio Sobre Tolerância à Deficiência Hídrica em Plantas, Santo Antônio de Goiás, p.130-134, out. 2011

Azmat, R., & Moin, S. **The remediation of drought stress under VAM inoculation through proline chemical transformation action.** Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 193 (February), 155–161. 2019

Bai, X., Long, J., He, X., Yan, J., Chen, X., Tan, Y., Li, K., Chen, L., Xu, H. **Overexpression of spinach non-symbiotic hemoglobin in Arabidopsis resulted in decreased NO content and lowered nitrate and other abiotic stresses tolerance.** Scientific reports, 6. 2016

Basu S, Ramegowda V, Kumar A, Pereira A. **Plant adaptation to drought stress.**[version 1; referees: 3 approved]. F1000Research 5:1–10. 2016

Baudoin, M.A.; Vogel, C.; Nortje, K.; Naik, M. **Living with drought in South Africa: lessons learnt from the recent El Niño drought period.** International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 23, p. 128-137, 2017

Bhattacharyya, P., Nayak, A.K., Shahid, M., Tripathi, R., Mohanty, S., Kumar, A., Raja, R., Panda, B.B., Lal, B., Gautam, P., Swain, C.K. **Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice.** Crop J. 3 (5), 387–395. 2015

Blum, A. **Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production.** Plant, Cell & Environment, 40(1), 4-10. 2017

Buezo, J., Sanz-Saez, Á., Moran, J. F., Soba, D., Aranjuelo, I., & Esteban, R. **Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments.** Physiologia plantarum, 166, 88-104. 2019

Catuchi, Ta; Vítolo, Hf; Bertolli, Sc; Souza, Gm. **Tolerância à deficiência hídrica entre duas cultivares de soja: transgênica versus convencional.** Ciência Rural, v. 3, pág. 373-378, cac. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000300002>. 2011

Companhia Nacional De Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento safra brasileira grãos**, v. 6 Safra 2015/16 -Décimo Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-140. 2018

Cordeiro, Y. E. M., Tavares, F. B., De Sousa Nascimento, A. W., & Pena, H. W. A.



**Aspectos bioquímicos de plantas jovens de açaízeiro (*Euterpe oleraceae*) sob dois regimes hídricos na Amazônia Oriental.** Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), 7(3), 52-56. 2017

Costa, A.C., Rezende-Silva, S.L., Megguer, C.A., Moura, L.M.F. Rosa M., Silva. A.A. **The effect of irradiance and water restriction on photosynthesis in young jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) plants.** Photosynthetica 53 (1): 118-127.29 .2015

Cramer, G. R.; Urano, K.; Delrot, S.; Pezzotti, M.; Shinozaki, K. **Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective.** BMC Plant Biology, v.11, 166 p. 2011

Domingos, P., Prado, A. M., Wong, A., Gehring, C., Feijo, J. A. **Nitric oxide: a multitasked signaling gas in plants.** Molecular Plant, 8(4), 506-520. 2015

Dong, Y.; Xu, L.; Wang, Q.; Fan, Z.; Kong, J.; Bai, X. **Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis,antioxidative ability, and mineral element contents of perennial ryegrass under copper stress.** J Plant Interact, , 9, 402–411, 2014.

Fan, H.F.; Du, C.X.; Ding, L.; Xu, Y.L. **Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress.** Acta Physiol. Plant 35, 2707–2719, 2013.

Farias, J.R.B.; Assad, E.D.; Almeida, I.R. De; Evangelista, B.A.; Lazzarotto, C.; Neumaier, N.; Nepomuceno, A.L. **Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9,p. 415-421. 2001

Foloni, J.S.S.; Rosolem, C.A. **Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1549-1561. 2013

Gómez-Merino, F. C.; Trejo-Téllez, L. I. **Biostimulant activityof phosphite in horticulture.** Scientia Horticulturae,196:82-90, 2015.

Habib, N.; Ashraf, M. **Effect of exogenously applied nitric oxide on water relations and ionic composition ofrice (*Oryza sativa L.*) plants under salt stress.** Pak. J. Bot. 46, 111–116, 2014.

Han Ren, Gao Cyan ZliQ. **Resposta do rendimento de grãos de trigo de inverno e eficiência do uso da água ao déficit de irrigação no norte da China.** Simples, 29:971-977. 2018

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Hossain, M. S., Anee, T. I., Parvin, K., & Fujita, M. **Nitric oxide pretreatment enhances antioxidant defense and glyoxalase systems to confer PEG-induced oxidative stress in rapeseed.** *Journal of Plant Interactions*, v.12, p.323-331, 2017.

IBGE, <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>, 2023.

Ilyas, M., Nisar, M., Khan, N., Hazrat, A., et al. **Drought tolerance strategies in plants: a mechanistic approach.** *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40 n.3, p.926-944, 2021.

Júnior, G. D. N. A., Gomes, F. T., Da Silva, M. J., Da Rosa Jardim, A. M. F., Simões, V. J. L. P., Izidro, J. L. P. S., & Da Silva, T. G. F. **Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão.** *PUBVET*, 13, 148. 2018

Liao, W., Huang, G., Yu, J., Zhang, M. **Nitric oxide and hydrogen peroxide alleviate drought stress in marigold explants and promote its adventitious root development.** *Plant Physiology. Biochemistry.* 58, 6-15. 2012

Lima, A. M. N., Peluzio, J. M., Siqueira, F. L. T., & Oliveira Junior, W. P. **Efeito do déficit hídrico e época de semeadura sobre os teores e rendimentos de óleo e proteína em cultivares de soja no Tocantins.** *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116. 2017

Liu, W.W.; Chen, H.B.; Lu, X.Y.; Rahman, M.J.; Zhong, S.; Zhou, B.Y. **Identification of nitric oxide responsive genes in the floral buds of Litchi chinensis.** *Biol. Plant.* 59, 115–122, 2015.

Liu, F.; Jensen, C.R.; Andersen, M.N. **Hydraulic and chemical signals in the control of leaf expansion and stomatal conductance in soybean exposed to drought stress.** *Funct. Plant Biol.*30, 65–73. 2003

Matos Filho, Hélio Aparecido; Carvalho, Renata De Castro Marques. **Análise de carboidratos solúveis em plantas de arroz.** *Científic@- Multidisciplinary Journal*, v. 7, n. 1, p. 1-8. 2020

Martins, E.S.P.R.; Magalhães, A.R.; Fontenele, D. **A seca plurianual de 2010-2017 no Nordeste e seus impactos.** *Parcerias Estratégicas*, v. 22, n. 44, p. 17-40, 2017.

Maxwell, K.; Johnson, G.N. **Chlorophyll fluorescence - a practical guide.** *Journal of Experimental Botany*, v.51, p.659–668, 2000.

Mesquita, Ro; Coutinho, Fs; Vital, Ce; Nepomuceno, Al; Williams, Tcr; Oliveira Ramos, Hj; Loureiro, Me. **Abordagem fisiológica para decifrar a tolerância à seca de um**

**genótipo de soja da savana brasileira. Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 151, n. 6, pág. 132-143. OHASHI, Y. 2020

Naumann, G.; Cammalleri, C.; Mentaschu, L.; Feyen, L. **Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. Nature Climate Change**, v. 11, p. 485-491, 2021.

Osmolovskaya N, Shumilina J, Kim A. **Methodology of drought stress research: Experimental setup and physiological characterization. Int J Mol Sci** 19.2018

Oyarburo, Ns et al. **O fosfito de potássio aumenta a tolerância aos UV-B na batata. Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, 88:1-8, 2015

Procházková, D. et al. **Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis. Photosynthetica**, 51:483-489, 2013.

Rivas, R., Frosi, G., Ramos, D. G., Pereira, S., Benko-Iseppon, A. M., & Santos, M. G. **Photosynthetic limitation and mechanisms of photoprotection under drought and recovery of Calotropis procera, an evergreen C3 from arid regions. Plant physiology and biochemistry**, 118, 589-599. 2017

Robbins, N.E.; Dinneny, J.R. **The divining root: Moisture-driven responses of roots at the micro-and macro-scale. J. Exp. Bot.**, 66, 2145–2154. 2015

Roy, K.S., Bhattacharyya, P., Neogi, S., Rao, K.S., Adhya, T.K. **Combined effect of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on dry matter production, net assimilation rate, C and N allocations in tropical rice (*Oryza sativa L.*). Field Crop Res.** 139, 71–79. 2012

Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S., & Dawood, M. G. **Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. Bulletin of the National Research Centre**, v.43, p.5, 2019.

Saeidi M, Abdoli M. **Efect of drought stress during grain flling on yield and its components, gas exchange variables and some physiological traits of wheat cultivars. J Agr Sci Tech** 17:885–898. 2015

Sahoo, S., Panneerselvam, P., Chowdhury, T., Kumar, A., Kumar, U., Jahan, A., Senapati, A., Anandan, A. **Understanding the AM fungal association in flooded rice under elevated CO<sub>2</sub> condition. Oryza** 54 (3), 290–297. 2017

Salem, M. A., Kakani, V. G., Koti, S., & Reddy, K. R. **Pollen-based screening of soybean genotypes for high temperatures. Crop Science**, 47,219-231. 2007

- Santisree, P., Bhatnagar-Mathur, P., Sharma, K. K. **NO to drought-multifunctional role of nitric oxide in plant drought: Do we have all the answers?** *Plant Science*, 239, 44-55. 2015
- Schaparini, L. P., Fontana, D. C., Dalmago, G. A., Rodigheri, G., Fernandes, J. M. C., Santi, A., & Vargas, P. R. **Análise comparativa entre índices de vegetação e sua relação com o balanço hídrico em soja.** *Agrometeoros*, 27(1). 2020
- Schmiele, M., Da Silva, L. H., Da Costa, P. F. P., Rodrigues, R. D. S., & Chang, Y. K. **Influência da adição de farinha integral de aveia, flocos de aveia e isolado proteico de soja na qualidade tecnológica de bolo inglês.** *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 29(1). 2011
- Sentelhas Pc, Battisti R, Câmara Gms, Farias Jrb, Hampf Ac, Nendel C . **The soybean yield gap in Brazil—magnitude, causes and possible solutions for sustainable production.** *Journal Agricola Science* 153: 1394– 1411. 2015
- Silva Rodrigues, J. I., De Miranda, F. D., Ferreira, A., Borges, L. L., Da Silva Ferreira, M. F., Good-God, P. I. V., & Moreira, M. A. **Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45, 472-480. 2011
- Sreeharsha Rv, Mudalkar S, Sengupta D. **Mitigation of drought- induced oxidative damage by enhanced carbon assimilation and an efficient antioxidative metabolism under high CO<sub>2</sub> environment in pigeonpea (*Cajanus cajan L.*).** *Photosynth Res.* 139:425-439. 2019
- Trapet, P., Kulik, A., Lamotte, O., Jeandroz, S., Bourque, S., Nicolasfrancès, V., Rosnoblet, C., Besson-Bard, A., Wendehenne, D. **(NO signaling in plant immunity: A tale of messengers *Phytochemistry*, 112: 72-79. 2015**
- Valladares, F.; Pearcy, R. W. **Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Niño year.** *Plant Cell and Environment*, n.25, p.749-756. 2002
- Valladares, F.; Pearcy, R.W. **Interactions between water stress, sun- shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*.** *Plant Cell and Environment*, v.20, p.0,84-36. 1997
- Vital, RG, Müller, C., Freire, FBS et al. **Respostas metabólicas, fisiológicas e anatômicas de plantas de soja sob condição de déficit hídrico e temperatura elevada.** *Sci Rep* 12 , 16467 . 2022

- Wang, X., Khodadadi, E., Fakheri, B., & Komatsu, S. **Organ-specific proteomics of soybean seedlings under flooding and drought stresses**. Journal of Proteomics. 2017
- Wani, A. S., Ahmad, A., Hayat, S., & Tahir, I. **Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard**. Plant physiology and biochemistry, v.135, p.385- 394, 2019.
- Wellburn, Ar. **A determinação espectral de clorofilas a e b, bem como carotenóides totais, usando vários solventes com espectrofotômetros de diferentes resoluções**. Journal Plant Physiology, 144, 307-313. 1994
- Yamori, W. **Photosynthetic response to fluctuating environments and photoprotective strategies under abiotic stress**. Journal of Plant Research, v. 129, n. 3, p. 379-395, 2016.
- Zhang, L., Li, X., Li, X., Wei, Z., Han, M., Zhang, L., Li, B. **Exogenous nitric oxide protects against drought-induced oxidativestress in Malus rootstocks**. Turkish Journal of Botany, 40(1), 17-27.
- Zhou, L., Xu, H., Mischke, S., Meinhardt, L. W., Zhang, D., Zhu, X., ...& Fang, W. **Exogenous abscisic acid significantly affects proteome in tea plant (*Camellia sinensis*) exposed to drought stress**. Horticulture research,1, 14029.B2016. 2014
- Zipper, S. C., Qiu, J., Kucharik, C. J. **Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes**. Environmental Research Letters, 11(9), 094021. 2016
- Zlobin, I. E.; Ivanov, Y. V.; Kartashov, A. V.; Sarvin, B. A.; Stavrianidi, A. N.; Kreslavski, V. D.; Kuznetsov, V. V. **Impact of weak water deficit on growth, photosynthetic primary processes and storage processes in pine and spruce seedlings**. Photosynthesis research, v. 139, p. 307-323,. 2019.