



**HUGO BONÉZIO**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE IODO NA MITIGAÇÃO DOS  
EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA**

**LAVRAS – MG  
2026**

**HUGO BONÉZIO**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE IODO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT  
HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento - UFLA  
Orientador

Dr. Lucas de Ávila Silva - Bience Agriscience  
Co-orientador

**LAVRAS – MG  
2026**

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

Bonézio, Hugo.

Aplicação foliar de iodo na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em plantas de  
soja / Hugo Bonézio. - 2026.

54 p. : il.

Orientador: Vitor de Laia Nascimento

Coorientador: Lucas de Ávila Silva

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.  
Bibliografia.

1. Soja. 2. Déficit hídrico. 3. Iodo. 4. Fertilização foliar. 5. Elemento benéfico. I.  
Nascimento, Vitor de Laia. II. Silva, Lucas de Ávila. III. Universidade Federal de  
Lavras. IV. Título.

**HUGO BONÉZIO**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE IODO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS  
DO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA**

**FOLIAR APPLICATION OF IODINE TO MITIGATE THE EFFECTS  
OF WATER DEFICIT IN SOYBEAN PLANTS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de julho de 2026.

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento - UFLA

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins - EPAMIG

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori – UFLA

Documento assinado digitalmente  
 **VITOR DE LAIA NASCIMENTO**  
Data: 21/10/2026 21:41:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Vitor de Laia Nascimento**  
Orientador  
**Dr. Lucas de Ávila Silva - Bience Agriscience**  
Coorientador

**LAVRAS - MG**  
**2026**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos órgãos de fomento à pesquisa pelo suporte essencial ao desenvolvimento deste trabalho. Em especial, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Bience Agriscience e à Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo apoio institucional, financeiro e acadêmico. O suporte dessas instituições foi fundamental para a realização desta pesquisa.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

I would like to thank the research funding agencies for their essential support in the development of this work. I am grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Research Support Foundation of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), Bience Agriscience and the Federal University of Lavras (UFLA) for their institutional, financial, and academic support. The support of these institutions was fundamental to the completion of this research.

## RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, amplamente utilizada na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis. No Brasil, o principal desafio para o aumento da sua produtividade é o déficit hídrico, que compromete processos fisiológicos e bioquímicos essenciais, incluindo fotossíntese, crescimento celular e equilíbrio redox. O iodo é um elemento não essencial, porém benéfico para as plantas, com potencial para modular respostas fisiológicas e antioxidantes em condições de estresse. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade do iodo em mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas de soja. Para a experimentação, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado. Foram utilizados 2 regimes hídricos (80% da capacidade de campo [controle] e 50% da capacidade de campo [déficit hídrico]), duas fontes de iodo: iodeto de potássio (KI) e iodato de potássio (KIO<sub>3</sub>) e para cada fonte foram utilizadas duas doses: 5 e 10 mM. Foram realizados 2 experimentos nos quais fontes de iodo foram testadas isoladamente, combinando assim as doses e o regime hídrico. Os parâmetros fisiológicos e morfológicos foram analisados durante a aplicação do déficit hídrico e após a recuperação. Foram medidos parâmetros morfofisiológicos, de produtividade de sementes, trocas gasosas, bioquímicos e de potencial hídrico foliar (diurna e antemanhã) ao longo do ciclo. Os resultados indicam que a aplicação foliar de iodeto de potássio (KI) apresentou respostas menos consistentes na tolerância e na recuperação das plantas de soja ao déficit hídrico. Por outro lado, a aplicação de iodato de potássio (KIO<sub>3</sub>) promoveu efeitos mais evidentes, principalmente na concentração de 10 mM, favorecendo a manutenção do crescimento e da produção da cultura, bem como melhor recuperação fisiológica após a reidratação.

Palavras-chave: soja; déficit hídrico; iodo; fertilização foliar; elemento benéfico.

## ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the world's most important agricultural crops, widely used for human and animal nutrition and biofuel production. In Brazil, the main challenge to increasing its productivity is water deficit, which compromises essential physiological and biochemical processes, including photosynthesis, cell growth, and redox balance. Iodine is a non essential yet beneficial element for plants, possessing antioxidant and regulatory potential; thus, its application to cultivated plants can certainly offer advantages. Given this context, the objective of this study was to evaluate the capacity of iodine to mitigate the effects of water deficit in soybean plants. For the experiment, a completely randomized design was used. Two water regimes (80% of field capacity [control] and 50% of field capacity [water deficit]) and two iodine sources—potassium iodide (KI) and potassium iodate ( $\text{KIO}_3$ )—were employed, with two application rates (5 and 10 mM) for each source. Two experiments were conducted in which the iodine sources were tested separately, combining the application rates and water regimes. Physiological and morphological parameters were analyzed during the water deficit period and after recovery. Morphophysiological, seed yield, gas exchange, and biochemical parameters, as well as leaf water potential (midday and predawn), were measured throughout the crop cycle. The results indicate that foliar application of potassium iodide (KI) yielded less consistent responses regarding soybean plant tolerance to and recovery from water deficit. Conversely, the application of potassium iodate ( $\text{KIO}_3$ ) produced more pronounced effects—particularly at the 10 mM concentration—favoring the maintenance of crop growth and yield, as well as better physiological recovery following rehydration.

Keywords: soybean; water deficit; iodine; foliar fertilization; beneficial element.

## **INDICADORES DE IMPACTO**

Este estudo contribui para a agricultura ao demonstrar o potencial da aplicação foliar de iodo na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em plantas de soja. Considerando a importância econômica da cultura e os desafios impostos pelas mudanças climáticas, estratégias que favoreçam a tolerância das plantas à restrição hídrica são essenciais para manter a produtividade em ambientes com menor disponibilidade de água. Os resultados indicam que o iodo, principalmente na forma de  $\text{KIO}_3$ , pode favorecer a manutenção do status hídrico, a recuperação fisiológica após o estresse, o crescimento, a produtividade e a composição proteica dos grãos. Dessa forma, a pesquisa apresenta impacto tecnológico ao ampliar o conhecimento sobre o uso de elementos benéficos no manejo da soja e ao fornecer subsídios para práticas agrícolas mais eficientes. Do ponto de vista econômico e ambiental, o uso do iodo pode contribuir para reduzir perdas produtivas causadas pelo déficit hídrico e favorecer o uso mais racional da água na agricultura. Assim, o trabalho está alinhado ao desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas, contribuindo especialmente para a agricultura sustentável, inovação no manejo agrícola e ação contra a mudança global do clima.

## **IMPACT INDICATORS**

This study contributes to agriculture by demonstrating the potential of foliar iodine application to mitigate the effects of water deficit in soybean plants. Considering the economic importance of soybean and the challenges imposed by climate change, strategies that improve plant tolerance to water restriction are essential to maintain productivity under limited water availability. The results indicate that iodine, especially in the form of  $\text{KIO}_3$ , can favor the maintenance of plant water status, physiological recovery after stress, growth, productivity, and grain protein composition. Therefore, this research has technological impact by expanding knowledge on the use of beneficial elements in soybean management and by providing support for the development of more efficient agricultural practices. From an economic and environmental perspective, iodine application may contribute to reducing yield losses caused by water deficit and promoting a more rational use of water in agriculture. Thus, this study is aligned with the development of more sustainable and resilient production systems under climate change scenarios, contributing especially to sustainable agriculture, innovation in crop management, and climate action.

## SUMÁRIO

|              |                                                                  |           |
|--------------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>2</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Origem e aspectos da Soja (Glycine max (L.) Merrill).....</b> | <b>13</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Déficit hídrico na cultura da soja.....</b>                   | <b>14</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Elementos Benéficos.....</b>                                  | <b>16</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Aplicação de iodo na agricultura .....</b>                    | <b>16</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Adubação Foliar .....</b>                                     | <b>17</b> |
| <b>3</b>     | <b>OBJETIVOS .....</b>                                           | <b>18</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Objetivo geral.....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Objetivos específicos .....</b>                               | <b>18</b> |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                  | <b>19</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Localização do experimento .....</b>                          | <b>19</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Material vegetal e condições de cultivo .....</b>             | <b>19</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Delineamento experimental e tratamentos.....</b>              | <b>20</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Condição de Irrigação .....</b>                               | <b>23</b> |
| <b>4.5</b>   | <b>Análises de crescimento e de produtividade .....</b>          | <b>24</b> |
| <b>4.6</b>   | <b>Análises de condutância estomática .....</b>                  | <b>24</b> |
| <b>4.7</b>   | <b>Avaliação do status hídrico .....</b>                         | <b>24</b> |
| <b>4.8</b>   | <b>Análises bioquímicas de grãos .....</b>                       | <b>24</b> |
| <b>4.9</b>   | <b>Análise estatística .....</b>                                 | <b>25</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS .....</b>                                          | <b>26</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Experimento I (Cultivar NEO 680 IPRO).....</b>                | <b>26</b> |
| <b>5.1.1</b> | <b>Potencial Hídrico (<math>\Psi_w</math>) .....</b>             | <b>26</b> |
| <b>5.1.2</b> | <b>Condutância Estomática .....</b>                              | <b>27</b> |
| <b>5.1.3</b> | <b>Avaliações Biométricas e Produtivas.....</b>                  | <b>28</b> |
| <b>5.1.4</b> | <b>Análise Proteica dos grãos .....</b>                          | <b>29</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>EXPERIMENTO II (CULTIVAR BRASMAX ATAQUE I2X).....</b>         | <b>30</b> |
| <b>5.2.1</b> | <b>Potencial Hídrico (<math>\Psi_w</math>) .....</b>             | <b>30</b> |
| <b>5.2.2</b> | <b>Condutância Estomática .....</b>                              | <b>32</b> |
| <b>5.2.3</b> | <b>Avaliações Biométricas e Produtivas.....</b>                  | <b>33</b> |
| <b>5.2.4</b> | <b>Análise Proteica dos grãos .....</b>                          | <b>36</b> |

|          |                          |           |
|----------|--------------------------|-----------|
| <b>6</b> | <b>DISCUSSÃO .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>44</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura mais comercializada em todo mundo, considerada uma commodity agrícola (Valdes et al., 2023), sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial (MercoPress, 2023). A soja é comercialmente utilizada para a alimentação humana e animal como farelo ou óleo vegetal, além de ser uma fonte alternativa para a fabricação de biocombustíveis (Lima et al., 2023). No entanto, o aquecimento global e a intensificação de eventos extremos tendem a comprometer de forma significativa a produtividade da soja. Estima-se que, além do incremento nas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico, também haverá aumento da temperatura e da frequência de secas severas o que pode contribuir para uma redução de até 4,2% na produção global de soja até 2100 (AR6 WGII, 2022; Xu et al. 2024). Mas as projeções podem ainda ser mais alarmantes para cultivos de sequeiro pois, se estima perdas de até 20% até meados do século (Leng et al. 2019), demonstrando o forte impacto da seca à produtividade da soja principalmente nos trópicos (Zhao et al. 2017).

À medida que a disponibilidade de água diminui, a redução do potencial hídrico e do turgor celular pode limitar precocemente a expansão e o crescimento dos tecidos (Chaves et al., 2003). Paralelamente, ocorre a regulação da abertura estomática, reduzindo a perda de água por transpiração. Entretanto, à medida que o estresse se intensifica, o fechamento estomático restringe a difusão de CO<sub>2</sub> para o mesófilo e pode limitar a fotossíntese (Engelbrecht et al., 2007; Chaves et al., 2009). Com o avanço do estresse, observa-se diminuição da área foliar devido à redução da expansão de novas folhas e à aceleração da senescência foliar, o que agrava o declínio na capacidade fotossintética e na interceptação de luz (Hernández et al., 2004). Paralelamente, o balanço entre produção e consumo de espécies reativas de oxigênio (ERO) se desloca para o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, que, quando acumuladas em excesso, podem causar danos oxidativos a lipídios, proteínas e DNA, comprometendo processos metabólicos essenciais (Iturbe-Ormaetxe et al., 1998; Asada, 2006). Essas respostas fisiológicas e bioquímicas em cascata resultam em menor acúmulo de biomassa, florescimento e enchimento de grãos prejudicados e, conseqüentemente, queda significativa na produtividade das culturas, que pode atingir perdas superiores a 20 % em cenários de déficit moderado a severo (Irfan et al., 2023).

A aplicação exógena de nutrientes visa primariamente suprir deficiências que limitam o crescimento e o rendimento das plantas, garantindo o fornecimento adequado de

elementos essenciais para processos como a síntese de carboidratos, a divisão celular e o metabolismo secundário. Além disso, existem elementos considerados benéficos que, embora não sejam essenciais para a conclusão do ciclo de vida vegetal, podem favorecer processos fisiológicos e mecanismos de resposta a estresses abióticos quando fornecidos em concentrações adequadas.

O iodo (I) é um elemento essencial para os seres humanos, porém para as plantas é classificado como benéfico, em que a suplementação em pequenas concentrações promove o crescimento e florescimento precoce, além de regular genes de defesa contra estresses abióticos (Kiferle et al. 2021). A aplicação de diferentes fontes de I (iodeto de potássio - KI ou iodato de potássio -  $\text{KIO}_3$ ) pode aumentar a capacidade antioxidante das plantas, como foi observado para as culturas de alface, soja e tomate, por estimular a atividade das principais enzimas do sistema antioxidante (Blasco et al., 2011; Gupta et al., 2015; Pérez et al., 2021). Além disso, a aplicação de I pode levar a uma maior eficiência fotossintética, crescimento radial e longitudinal das plantas e acúmulo de biomassa de tomate, mostarda e café (Lima et al., 2023; Kiferle et al., 2011; Andrade et al., 2024). Em geral podemos utilizar diferentes formas de I para disponibilizar para as plantas, sendo as duas mais acessíveis e usadas: (i) iodeto de potássio (KI); e (ii) iodato de potássio ( $\text{KIO}_3$ ) (Lima et al., 2023; Kiferle et al., 2011; Andrade et al., 2024).

A aplicação foliar pode ser considerada um dos métodos mais eficazes no contexto de manejo nutricional, sendo utilizado para fornecer os nutrientes necessários às plantas em concentrações adequadas e melhorar o seu estado nutricional, bem como aumentar o rendimento da colheita e a sua qualidade (Smolej, 2012; Alshaal & El-Ramady, 2017; Budke et al., 2020; Budke et al., 2021). Os nutrientes disponíveis na solução do solo, quando absorvidos pela raiz, são transportados via xilema até a altura das folhas redistribuídos ao longo de todo tecido vegetal, por outro lado, a aplicação de fertilizantes via foliar nos permite a aplicação de doses menores que são facilmente absorvidas e utilizadas nos processos metabólicos (Fernández & Brown, 2013) , sendo assim, a suplementação de micronutrientes essenciais ou benéficos, via foliar é uma alternativa normalmente adotada sempre aventada pelos agricultores (Pace, 1982; Hadavi & Garcia-Mina, 2023).

Dessa forma, considerando a importância da soja para a agricultura brasileira, os efeitos negativos do déficit hídrico sobre o crescimento, o metabolismo e a produtividade da cultura, bem como o potencial do iodo como elemento benéfico, torna-se essencial elucidar os mecanismos fisiológicos e bioquímicos associados à sua aplicação foliar.

Compreender o papel do iodo na modulação do estresse oxidativo, na manutenção do status hídrico e na preservação da atividade metabólica das plantas pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias agronômicas mais eficientes. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade do iodo, aplicado via foliar nas fontes iodeto de potássio (KI) e iodato de potássio (KIO<sub>3</sub>), em mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas de soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Origem e aspectos botânicos da Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

Com origem asiática, a soja (*Glycine max* L.) é uma leguminosa anual e autógama da família Fabaceae, com porte herbáceo. Suas características morfológicas, como ciclo, altura e ramificações, são influenciadas pelo ambiente (Tejo et al., 2019). Segundo Gazzoni (2018), essa planta é de grande importância comercial e nutricional. Graças à sua alta qualidade proteica e ao teor de isoflavonas, o consumo de soja na alimentação humana é incentivado, visto a enorme variedade de produtos disponíveis e os potenciais benefícios à saúde (Cantelli, 2016).

O sistema radicular da soja é caracterizado por uma raiz axial principal e raízes secundárias (Sediyama, 1985). Notavelmente, as raízes dessa leguminosa abrigam nódulos, resultado de uma relação simbiótica com microrganismos do gênero *Bradyrhizobium*. Essas bactérias desempenham um papel crucial na fixação do nitrogênio atmosférico, convertendo-o em uma forma assimilável pela planta (nitrato), enquanto, em troca, recebem hidratos de carbono da soja.

O caule da soja é descrito como ereto, pubescente, herbáceo e ramificado, com seu desenvolvimento iniciando no eixo embrionário. Embora condições externas possam influenciar seu crescimento, a maioria das cultivares apresenta um tipo de crescimento ortótropo (Tejo et al., 2019). No que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento da leguminosa, Camargo (2010) aponta a existência de três categorias distintas de folhas: as cotiledonares, que são as iniciais; as unifolioladas, que surgem no estágio inicial do desenvolvimento; e as trifolioladas, que permanecem na planta até a fase de senescência. As flores da soja são completas e surgem em racemos axilares ou terminais, conforme Milman (2020). A coloração pode variar de acordo com a genética da cultivar, mas as mais comuns são púrpura ou branca. A abertura floral geralmente ocorre pela manhã e pode ser influenciada pela umidade e temperatura. A soja é um vegetal de dias curtos, o que significa que ela precisa de um certo período de escuridão para florescer; contudo, essa

característica pode variar entre as cultivares.

O fruto da soja é chamado de vagem e, quando maduro, atinge de 2 a 7 cm de comprimento e de 1 a 2 cm de largura, dimensões que podem variar conforme as condições climáticas, mas que geralmente mantêm uma forma achatada (Silva et al., 2013). A soja pode ser cultivada na maioria dos tipos de solo, mas se desenvolve melhor em solos arenosos, férteis e bem drenados. Conforme Carmello (2006) explica, a taxa inicial de absorção de nutrientes da soja é menor. No entanto, sua exigência nutricional cresce ao longo da fase vegetativa e permanece alta até o início do preenchimento dos grãos, período em que as atividades fotossintéticas são elevadas (Tejo et al., 2019).

À medida que os grãos da soja se desenvolvem, ocorre uma maior translocação dos nutrientes acumulados nas partes vegetativas da planta, o que reduz a necessidade de absorção de nutrientes do solo. Consequentemente, as atividades fisiológicas diminuem significativamente, e a absorção e o processo fotossintético são encerrados com a maturação da planta, de acordo com Carmello (2006). O mesmo autor descreve a ordem decrescente de exigências nutricionais da soja como N, K, Ca, Mg, P e S. Além disso, a necessidade de água pela soja aumenta conforme a planta cresce, atingindo seu pico durante a fase de enchimento dos grãos. A água é crucial em todas as fases da produção agrícola, mas a irregularidade das chuvas intensificada pelas mudanças climáticas tem contribuído para a redução dos rendimentos em diversas culturas. Essa escassez hídrica é considerada um dos principais fatores abióticos que limitam o crescimento e a produtividade da soja em muitas regiões, conforme Almeida Neto (2015).

## **2.2 Déficit hídrico na cultura da soja**

O déficit hídrico caracteriza-se pelo desequilíbrio em que a taxa de perda de água pelas folhas, sobretudo pela transpiração, supera a capacidade de absorção radicular e condução xilemática, levando à redução do potencial hídrico da planta e ao acionamento de mecanismos de conservação, como fechamento estomático e acúmulo de osmólitos (Taiz et al., 2015).

Dentre os diversos estresses abióticos, o déficit hídrico emerge como o fator de maior impacto na produtividade de culturas agrícolas importantes mundialmente, incluindo a soja. Isso ocorre porque a falta de água provoca o fechamento dos estômatos, o que, por sua vez, reduz a fotossíntese e, consequentemente, a produtividade da lavoura (Taiz et al., 2017). Para se protegerem contra o déficit hídrico, as plantas empregam uma variedade de mecanismos, como a alteração da condutância estomática, o ajuste osmótico, o acúmulo de

moléculas osmoprotetoras e a ativação de proteínas antioxidantes (Gomes et al., 2015).

Adicionalmente, o estresse hídrico pode causar diretamente uma série de danos às plantas, manifestados em sintomas como a redução do crescimento, o aumento do estresse oxidativo e modificações no metabolismo que prejudicam a produção de fotoassimilados. Por essa razão, plantas sob estresse hídrico desenvolvem uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas para lidar com essa condição (Du et al., 2020).

Conforme Zhilei Liu (2015) explica, o déficit hídrico impacta as plantas principalmente em níveis físicos, nutricionais, fisiológicos e celulares. Esse impacto pode gerar danos oxidativos, causados por espécies reativas de oxigênio, e afetar a quantidade de aminoácidos livres e as concentrações de açúcar nas raízes das plantas. Sendo assim, um melhor entendimento do efeito da seca nas plantas é essencial para otimizar o manejo do uso da água em cenários climáticos variáveis e para a produção agrícola em geral (Jha et al., 2018).

Marianno (2016) ressalta que, na cultura da soja, o número de vagens por planta é fortemente afetado pelo déficit hídrico. Isso se deve ao fato de que a fase de formação das vagens demanda uma quantidade significativa de água, e sua ausência pode levar a um aumento considerável na taxa de abortamento das vagens, consequentemente diminuindo a produção final de sementes. Bredemeier (2000) também complementa que a seca pode comprometer o status de nitrogênio e o metabolismo nas plantas, e a interação entre esses processos resulta em uma redução da produção final.

A escassez de água diminui os níveis de nitrogênio na planta, o que pode impactar a síntese de proteínas. Isso inclui enzimas cruciais para a assimilação de carbono na fotossíntese e no metabolismo, afetando, por sua vez, a disponibilidade de carboidratos para a planta. O estresse hídrico, portanto, reduz a taxa de fotossíntese e altera a distribuição e o metabolismo do carbono, culminando no esgotamento energético e na diminuição da produção (Du et al., 2020).

Em acréscimo, Gava (2016) constatou que a aplicação de déficit hídrico ao longo de todo o ciclo da cultura da soja resultou na redução da produtividade. Contudo, quando o déficit foi aplicado apenas em subperíodos específicos, não houve diferença em comparação com a irrigação plena. Essa observação sugere a possibilidade de associar esses subperíodos aos veranicos frequentemente observados no Nordeste do Brasil. A partir disso, pode-se buscar soluções viáveis, como o desenvolvimento e uso de micronutrientes via foliar, visando a obtenção de rendimentos positivos mesmo em condições hídricas restritivas.

## 2.3 Elementos Benéficos

Os elementos classificados como benéficos para as plantas são aqueles que, embora não sejam imprescindíveis para o ciclo de vida vegetal, promovem respostas fisiológicas e agrônômicas vantajosas quando aplicados em doses adequadas (White;Broadley, 2009). Diferentemente dos nutrientes essenciais cuja deficiência impede o desenvolvimento ou a reprodução, os elementos benéficos atuam na otimização de mecanismos de defesa e de adaptação a estresses abióticos, como déficit hídrico, salinidade e temperaturas extremas (Trejo-téllez; Gómez-García, 2019). Entre os exemplos mais estudados destacam-se o silício, o selênio e o iodo, cujos efeitos positivos têm sido demonstrados em diferentes culturas, inclusive na soja (Ma; Yamaji, 2006; Trejo-Téllez; Gómez-García, 201; Kiferle et al., 2021; Lima et al., 2023).

O silício, embora não seja essencial, deposita-se no apoplasto foliar formando uma barreira física que reduz a perda de água por transpiração e dificulta a penetração de patógenos (Ma; Yamaji, 2006). Além dessa ação mecânica, o Si também induz a síntese de compostos fenólicos e a atividade de enzimas antioxidantes, como a peroxidase e a polifenoloxidase, contribuindo para a manutenção da integridade celular sob estresse (Bose et al., 2014). O selênio, por sua vez, em concentrações micromolares, estimula diretamente a atividade de glutathione peroxidase e outras enzimas do ciclo ascorbato-glutathione, reduzindo o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) geradas pela fotossíntese comprometida em condições de seca ou alta radiação (Gupta et al., 2015).

## 2.4 Aplicação de iodo na agricultura

A estratégia de empregar substâncias exógenas, especialmente elementos químicos, para atenuar os impactos negativos do déficit hídrico, tem se consolidado como uma abordagem interessante e rotineira. Elementos que não são considerados essenciais para a nutrição vegetal, como o silício (Si), o selênio (Se) e, mais recentemente, o iodo (I), revelaram-se eficazes na minimização de diversos estresses ambientais em distintas espécies de plantas (Garcia-Sanchez et al., 2015; Hawkesford et al., 2019). Apesar de não serem classificados tradicionalmente como nutrientes vegetais indispensáveis, esses elementos são reconhecidos como cruciais para a nutrição humana e são vistos como benéficos para as plantas, sendo associados a um aumento na produtividade das culturas, particularmente em cenários de condições desfavoráveis (Rodrigues et al., 2019; Shao et al., 2017).

Estudos com iodo ainda são incipientes, por isso suas funções ainda não são

totalmente compreendidas. Diversas investigações têm reportado um aumento significativo na atividade de enzimas antioxidantes em plantas suplementadas com iodo (Hohenauer et al., 2022; Kiferle et al., 2021; Weng et al., 2021; Yan et al., 2022). Além disso, se acredita que o iodo pode ser integrado à composição proteica, auxiliando na formação de proteínas iodadas, principalmente aquelas ligadas a cloroplastos e envolvidas em processos fotossintéticos (Kiferle et al. 2021).

No entanto, as pesquisas sobre os efeitos protetores do iodo em relação ao déficit hídrico têm sido limitadas (Rodrigues et al., 2019; Duarte et al., 2023; Medeiros et al., 2023). Contudo, alguns trabalhos demonstraram que o iodo pode mitigar o efeito do estresse por déficit hídrico, tanto em soja (Lima et al., 2023a) quanto em tomate (Lima et al., 2023b) pois, promove uma maior proteção antioxidante enzimática, concorrendo para uma diminuição de danos oxidativos e aumento da eficiência fotossintética das plantas, o que, pode proporcionar maior acúmulo de biomassa e uma produtividade superior.

## **2.5 Adubação Foliar**

Fernandez et al. (2015) destacam que uma das principais vantagens da adubação foliar é a realização conforme a demanda da cultura, ou seja, conforme o estágio fenológico. Considerando assim, esse é um dos principais quesitos técnicos para o uso da nutrição foliar. Veneziano et al. (2018) avaliaram a tecnologia da adubação foliar conforme as fases fenológicas da soja e verificaram que a aplicação de macro e micronutrientes no período vegetativo da soja aumentou a produção em função do aumento de biomassa de tecido fotossintético e de clorofila. Os autores ainda relatam que a aplicação de Ca e B no florescimento da soja, reduz a perda de flores com consequente aumento de produção e na fase de enchimento de grãos, a aplicação de K, Mg, S e B também aumentou a produção.

Conforme o propósito da adubação foliar, ela pode ser classificada em cinco tipos: preventiva, corretiva, substitutiva, complementar e suplementar (esta última aplicada no estágio reprodutivo). Na adubação foliar preventiva, os nutrientes são aplicados antes mesmo de qualquer sintoma de deficiência surgir. Em contraste, na modalidade corretiva, a nutrição via folha só ocorre após a identificação precisa de um déficit, garantindo uma correção rápida e direcionada. A estratégia substitutiva utiliza a via foliar para fornecer nutrientes que, de outra forma, seriam aplicados ao solo, enquanto a complementar serve para reforçar os nutrientes já disponibilizados na fertirrigação ou na adubação de base (Rosolem, 2002). Na adubação foliar suplementar, os nutrientes são aplicados mesmo

quando o solo já oferece teores adequados, pois se pressupõe que a absorção radicular não basta para atender à demanda das sementes em formação. Além disso, essa prática busca postergar a senescência, mantendo elevados os níveis de fotossíntese por mais tempo. Paralelamente, utiliza-se a adubação foliar estimulante, cujo efeito é rápido, porém temporário, promovendo ganhos imediatos nos processos de crescimento e desenvolvimento e assegurando a produtividade em períodos de estresse (Fageria et al., 2009).

A aplicação foliar de elementos benéficos apresenta vantagens logísticas e agronômicas: promove absorção rápida pelas folhas, dispensa grande volume de água e minimiza interações adversas em solos com pH ou composição química desfavoráveis (Fernández; Brown, 2013). Contudo, é essencial calibrar corretamente a dose e o momento de aplicação, pois quantidades acima do limiar seguro podem desencadear sintomas de fitotoxicidade, como clorose e necrose foliar (Hadavi; García-Mina, 2023). Assim, o reconhecimento dos elementos benéficos amplia o escopo do manejo nutricional, oferecendo ferramentas adicionais para aumentar a resiliência das culturas frente a estresses crescentes associados às mudanças climáticas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a capacidade do iodo em mitigar os efeitos do déficit hídrico em duas cultivares de soja.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o efeito da aplicação foliar de diferentes doses de KI e KIO<sub>3</sub> sobre o status hídrico de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico;
- Avaliar a condutância estomática das plantas durante o período de déficit hídrico e após a reidratação;
- Avaliar os efeitos da aplicação foliar de iodo sobre características biométricas e sobre a produção de grãos;
- Avaliar os efeitos do déficit hídrico e da aplicação de iodo sobre as frações proteicas dos grãos;
- Identificar, dentro de cada fonte de iodo, as doses associadas às respostas fisiológicas, biométricas e produtivas mais favoráveis.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do experimento

Plantas de soja foram cultivadas em casa de vegetação do Setor de Fisiologia Vegetal sob as coordenadas geográficas: Latitude 21°13'40" S e longitude 44°57'50" W GRW), Departamento de Biologia - Instituto de Ciências Naturais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras-MG.

### 4.2 Material vegetal e condições de cultivo

Cinco sementes de soja previamente tratadas com inseticida *Cropstar* foram semeadas em vasos com capacidade de 5 litros medindo 20 cm de altura, 20 e 17 cm de diâmetro superior e inferior respectivamente, a uma profundidade de 3 cm. Após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste 14 dias após a germinação, para a manutenção de uma planta por vaso e cada vaso recebeu 3 ml de solução contendo bactéria fixadora de nitrogênio. O solo utilizado foi previamente analisado (Tabela 1) e corrigido segundo Faquin et al. (2008). Foi utilizada uma mistura de solo, coletado na área experimental do Setor de Fisiologia Vegetal-UFLA, e areia na proporção de 3:1.

O experimento foi conduzido em duas épocas consecutivas, utilizando cultivares diferentes: no Experimento I foi utilizada a cultivar comercial NEO 680 IPRO, recomendada para o cerrado brasileiro, com ciclo de vida de 99 a 118 dias, por isso considerada uma cultivar precoce, que demanda de temperaturas médias entre 20 °C e 30 °C boa fertilidade e regime de chuva. No Experimento II foi utilizada a cultivar Brasmax ATAQUE I2X, que tem ciclo de vida de 106–123 dias, considerada uma cultivar mais tardia, demanda de temperaturas de aproximadamente 25 °C a 28 °C e boa fertilidade e disponibilidade hídrica. Sendo ambas comumente utilizadas em virtude do seu alto potencial produtivo.

**Tabela 1.** Características químicas do solo utilizados para o plantio e cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ao longo de todo ciclo.

| Protocolo | Identificação da amostra | pH(KCl) | pH | K                             | P | N <sub>a</sub> | C <sub>a</sub>                   | M <sub>g</sub> | Al | H + Al |
|-----------|--------------------------|---------|----|-------------------------------|---|----------------|----------------------------------|----------------|----|--------|
|           |                          |         |    | -----mg/dm <sup>3</sup> ----- |   |                | -----cmolc/dm <sup>3</sup> ----- |                |    |        |

|      |      |   |     |       |      |      |      |      |      |      |
|------|------|---|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| 6068 | Solo | - | 5,8 | 14,50 | 0,50 | 2,00 | 0,52 | 0,22 | 0,20 | 1,40 |
|------|------|---|-----|-------|------|------|------|------|------|------|

| Prot<br>ocol<br>o | S<br>B                           | t    | T    | V               | m     | M<br>·<br>O<br>· | P<br>-<br>R<br>e<br>m | Z<br>n                        | F<br>e | M<br>n | C<br>u | B    | S     |
|-------------------|----------------------------------|------|------|-----------------|-------|------------------|-----------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|------|-------|
|                   | -----cmolc/dm <sup>3</sup> ----- |      |      | -----%---<br>-- |       | da<br>g/<br>kg   | m<br>g<br>/<br>L      | -----mg/dm <sup>3</sup> ----- |        |        |        |      |       |
| 6068              | 0,78                             | 0,87 | 2,18 | 35,65           | 10,34 | 0,53             | 2,40                  | 0,20                          | 37,10  | 3,60   | 0,67   | 0,08 | 14,30 |

Fonte: Laboratório de Análises de Solo-Departamento de Ciências do Solo/ UFLA.

### 4.3 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial  $2 \times 3$ , considerando dois regimes hídricos, controle e déficit hídrico moderado, e três doses de iodo, 0, 5 e 10 mM. As fontes de iodo, iodeto de potássio (KI) e iodato de potássio ( $KIO_3$ ), foram avaliadas separadamente, de modo que, para cada fonte, foram combinados os dois regimes hídricos e as três doses de iodo. Esse mesmo desenho experimental foi utilizado para o Experimento I realizado entre os meses de novembro de 2024 e março de 2025 e para o Experimento II realizado entre os meses de abril e julho de 2025.

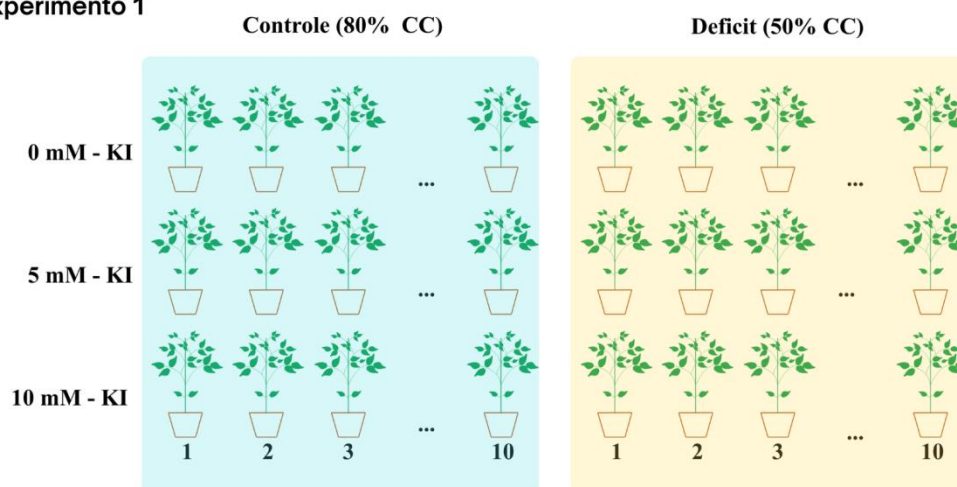
Como os experimentos foram conduzidos em épocas distintas e com cultivares diferentes, os resultados foram interpretados separadamente. Assim, as diferenças observadas entre os experimentos não foram atribuídas exclusivamente ao efeito da cultivar ou da época, sendo a interpretação concentrada no padrão de resposta das plantas às fontes e doses de iodo dentro de cada experimento.

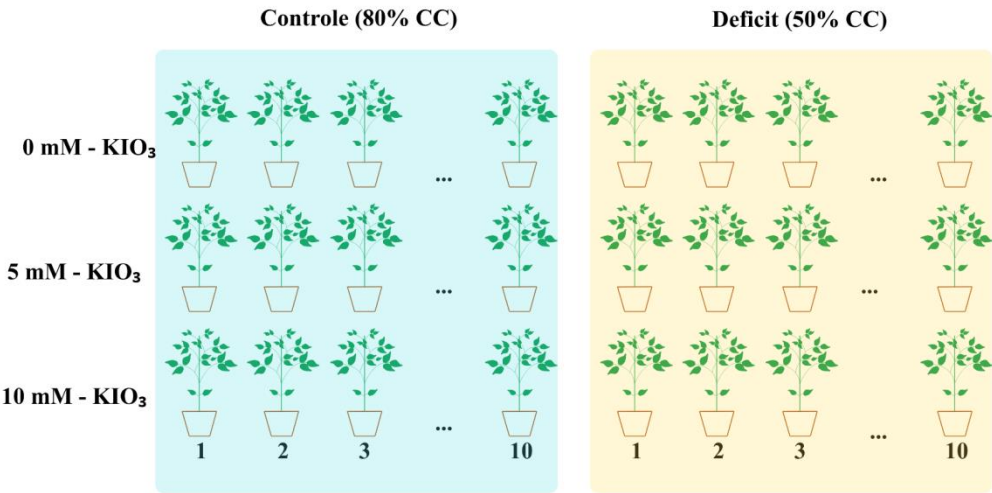
No Experimento I, foram utilizadas 10 plantas em cada tratamento, totalizando 120 unidades experimentais e no experimento II foram utilizadas 5 plantas para cada tratamento, totalizando 60 unidades experimentais.

A escolha das fontes e doses foi realizada com base em experimentos preliminares e ambos foram montados e conduzidos de igual forma. Cerca de 80 dias após a emergência (DAE), durante o estágio de desenvolvimento R1 (uma flor aberta em qualquer nó do caule), foram aplicados os tratamentos de iodo. A aplicação foliar foi realizada entre 8 e 9 horas da manhã, com uma temperatura mais amena e umidade relativa do ar por volta de 60% mantida através de sistema de nebulização. O volume aplicado com um pulverizador manual em cada planta foi de 15 mL da solução, para o total molhamento foliar.

As plantas foram irrigadas, mantendo o solo em torno de 80% da capacidade máxima de retenção de água do solo (CC – capacidade de campo) e após 7 dias da aplicação dos tratamentos de iodo as plantas foram submetidas ao déficit hídrico (50% CC) seguido da reidratação (80% CC). Durante a fase de reidratação, foi realizada uma reaplicação foliar das respectivas soluções de iodo, nas mesmas concentrações e condições utilizadas na primeira aplicação, com o objetivo de avaliar a contribuição do iodo na recuperação das plantas após o déficit hídrico.

#### Experimento 1





Experimento 2

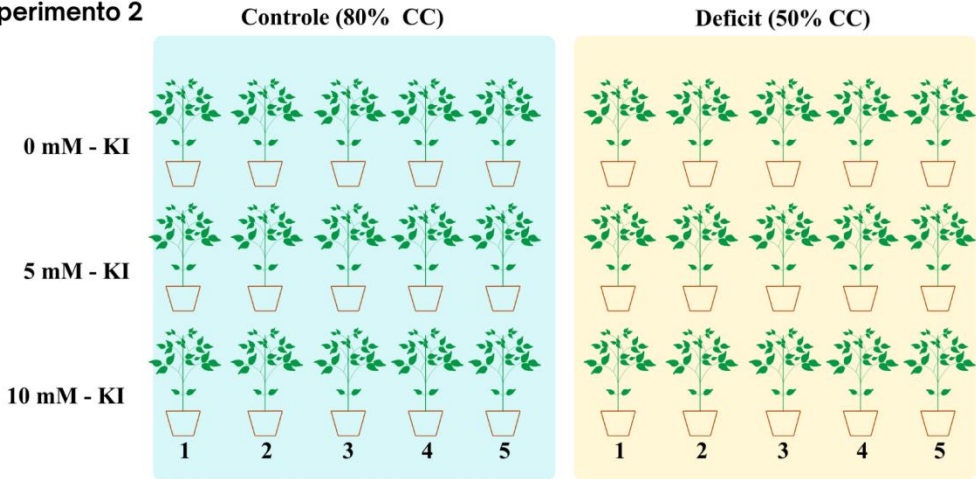
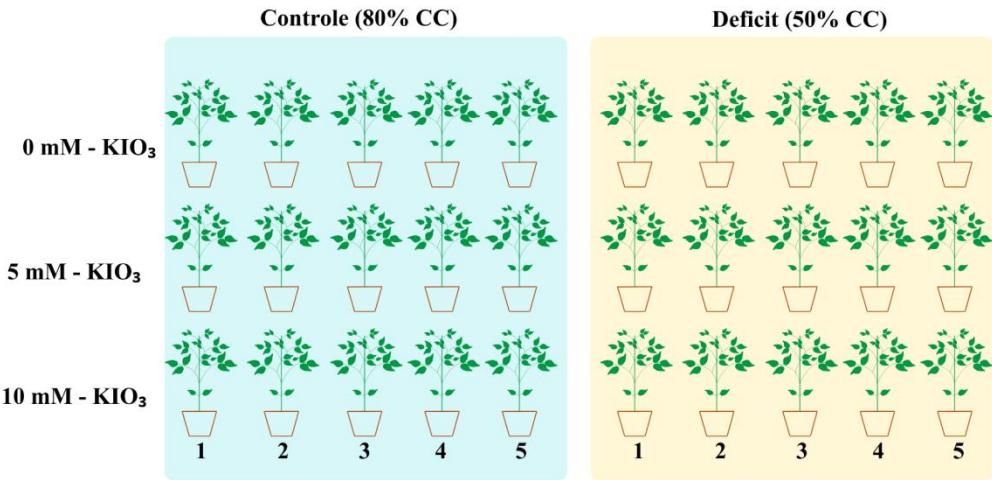


Figura 1. Desenho experimental do experimento I realizado com a cultivar NEO 680 IPRO de soja e do experimento II com a cultivar Brasmax ATAQUE I2X em que foram submetidas ao tratamento com 80% da capacidade de campo-CC (controle) e 50% da CC sob déficit hídrico (déficit Hídrico) e para cada CC foram aplicados via foliar 0, 5 e 10 mM de KI e KIO<sub>3</sub>.

#### 4.4 Condição de Irrigação

Antes do preenchimento dos vasos, a mistura de solo passou por secagem em estufa e peneiramento em malha de 5 mm, sendo posteriormente fracionada na quantidade de 4 kg por unidade experimental. O cálculo do limite máximo de retenção hídrica ou capacidade de campo do substrato seguiu o método gravimétrico proposto por Souza (2000), no qual os recipientes sofreram saturação hídrica prévia e posterior drenagem livre até a cessação do escoamento. A mensuração da massa de água retida no substrato decorreu da subtração entre o peso do solo umedecido pós-drenagem e seu respectivo peso seco, desconsiderando a massa dos recipientes. A partir dessa quantificação, determinaram-se rigorosamente os valores equivalentes aos regimes de 80% e 50% da capacidade de campo.

O controle do regime hídrico ocorreu diariamente via gravimetria, aferindo-se a massa individual de cada vaso para recomposição do volume transpirado até atingir a massa pré determinada para cada condição. A indução da restrição hídrica deu-se durante a fase R1 (início da formação das estruturas reprodutivas) e foi feita a diminuição gradativa da lâmina de irrigação de 80% até alcançar o patamar de 50% da capacidade de campo, no qual os vegetais foram mantidos por um subperíodo de sete dias contínuos. As mensurações relativas ao período de estresse foram efetuadas exatamente no sétimo dia após a estabilização em 50% da retenção.

Concluídas as análises do estresse, procedeu-se à reidratação dos vasos até reestabelecer 80% da capacidade de retenção hídrica. Essa condição estipulada permaneceu por cerca de sete dias consecutivos, momento em que se realizaram as avaliações do período de recuperação fisiológica. Ao término do ciclo fenológico da cultura, efetuou-se a colheita dos grãos visando às determinações dos componentes de produtividade. No momento do amostramento no déficit e na recuperação, o amostras de tecido foliar foram coletadas e em nitrogênio líquido a fim de assegurar a integridade do metabolismo celular. Posteriormente essas amostras foram refrigeradas em freezer -80.

#### 4.5 Análises de crescimento e de produtividade

As plantas foram conduzidas até o estágio reprodutivo final e, ao término de cada experimento, foram avaliados parâmetros morfofisiológicos e produtivos. A produtividade foi estimada por meio da produção de grãos por planta/vaso, determinado em balança de precisão. Para isso, todos os grãos produzidos por cada vaso, correspondente a uma repetição experimental, foram colhidos e pesados individualmente. Em seguida, os valores obtidos para os vasos pertencentes ao mesmo tratamento foram utilizados para o cálculo da média, que passou a representar a produtividade média do tratamento. A altura das plantas tomada do nível do solo até o nó apical superior foi mensurada com a utilização de uma fita métrica durante a fase de recuperação da planta após o estresse. O diâmetro do caule foi tomado com a utilização de um paquímetro digital.

#### 4.6 Análises de condutância estomática

A condutância estomática ( $g_s$ ) foi avaliada no período da manhã, entre 8h e 12h. No Experimento I, as avaliações foram realizadas utilizando o sistema de trocas gasosas LI-6400XT, equipado com câmara integrada de fluorescência LI-6400-40 (LI-COR, Lincoln, EUA). Durante as avaliações, foi utilizada densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de  $1.500 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo a concentração de  $\text{CO}_2$ , a temperatura e umidade relativa na condição ambiente. No Experimento II, a condutância estomática foi determinada utilizando um porômetro foliar da Mater modelo SC-1, também no período entre 8h e 3h. Os resultados de  $g_s$  foram expressos em  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

#### 4.7 Avaliação do status hídrico

Com o equipamento Bomba de Scholander fabricado pela empresa *PMS Company modelo 1000*, foi avaliado o potencial hídrico medido em -MPa, antes, durante e após o estresse hídrico. As medidas foram realizadas horas antes do amanhecer (3:00 h à 5:00 h) para obter o potencial hídrico máximo e durante a tarde (12:00h às 15h) para obter o potencial hídrico mínimo.

#### 4.8 Análises bioquímicas de grãos

Para a extração fracionada de proteínas dos grãos de soja foi utilizado o método adaptado de Silva et al. (2021). Foram pesados 0,025 g de amostra seca e moída, que

foram transferidos para tubos Eppendorf de 2 mL. A primeira etapa consistiu na extração das albuminas, realizada

pela adição de 1 mL de água deionizada à amostra. A mistura foi agitada em vortex por 1 minuto e, em seguida, centrifugada a 12.000 rpm, a 4 °C, por 20 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante, contendo a fração de albumina, foi coletado e armazenado em um tubo limpo, enquanto o precipitado foi reservado para as etapas seguintes.

Na sequência, a fração de globulina foi extraída a partir do precipitado da etapa anterior, adicionando-se 1 mL de solução de NaCl 5%. O material foi novamente agitado e centrifugado nas mesmas condições descritas anteriormente. O sobrenadante obtido, correspondente à fração de globulina, foi coletado, e o precipitado foi mantido para a próxima extração.

A fração de glutelina foi obtida pela adição de 1 mL de NaOH 0,4% ao precipitado restante. A amostra foi novamente homogeneizada, centrifugada e o sobrenadante final, contendo as glutelinas, foi recolhido.

A quantificação das proteínas extraídas em cada fração foi realizada pelo método de Bradford. Para isso, foram utilizados padrões de albumina sérica bovina, em concentrações conhecidas, para a construção da curva padrão. Em tubos de ensaio, foram adicionados 10 µL de cada sobrenadante ou padrão e 500 µL do reagente de Bradford. Após homogeneização, as amostras foram incubadas por 10 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, a absorbância foi medida em espectrofotômetro a 595 nm. A concentração de proteínas em cada fração foi determinada a partir da curva padrão e os resultados expressos em mg de proteína por grama de matéria seca.

#### **4.9 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando-se separadamente cada experimento, cada fonte de iodo e cada período de avaliação. Para cada fonte de iodo, iodeto de potássio (KI) ou iodato de potássio (KIO<sub>3</sub>), adotou-se esquema fatorial 2 × 3, composto por dois regimes hídricos, controle e déficit hídrico moderado, e três tratamentos de iodo: 0, 5 e 10 mM.

Quando observada significância pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As comparações foram realizadas entre as doses de iodo dentro de cada fonte e condição hídrica, conforme indicado pelas letras nas figuras. As análises foram realizadas no software R utilizando o pacote exp.desPT (Ferreira et al., 2013).

O modelo estatístico adotado foi:  $Y_{ijk} = \mu + RH_i + D_j + RH \times D_{ij} + \varepsilon_{ijk}$  em que  $Y_{ijk}$  corresponde ao valor observado;  $\mu$  é a média geral;  $RH_i$  é o efeito do i-ésimo regime hídrico;  $D_j$  é o efeito da j-ésima dose de iodo;  $RH \times D_{ij}$  é o efeito da interação entre regime hídrico e dose de iodo; e  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro experimental aleatório.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Experimento I (Cultivar NEO 680 IPRO)

#### 5.1.1 Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )

As plantas controle, mantidas sob 80% da capacidade de campo, apresentaram potencial hídrico foliar na antemanhã em torno de -0,25 MPa, indicando adequado status hídrico nesse período de avaliação.

Por outro lado, as plantas sob 50% da CC (déficit moderado) apresentaram valores mais negativos de potencial hídrico tanto na antemanhã como ao meio-dia, demonstrando à condição de déficit hídrico a qual foram submetidas, com valores médios de -0,8 MPa na antemanhã e -2,0 MPa ao meio-dia para o tratamento controle (Figura 2A e 2C). No entanto, a aplicação de KI e KIO<sub>3</sub> mitigou os efeitos do déficit hídrico, mostrando valores menos negativos de  $\Psi_w$ , principalmente para as doses de 10 mM, as quais apresentaram valores médios de -0,35 MPa para KI e -0,6 MPa para KIO<sub>3</sub> na antemanhã (Figura 2A). Ao meio-dia, esse mesmo padrão não foi observado com a mesma intensidade. Ainda assim, as doses de 5 e 10 mM, independentemente da fonte utilizada, mantiveram valores de  $\Psi_w$  menos negativos em relação ao tratamento 0 mM sob déficit hídrico (Figura 2C).

No período de recuperação, o  $\Psi_w$  das plantas sob o tratamento controle (80% CC) foi em torno de -0,1 MPa na antemanhã e em torno de -0,5 MPa ao meio - dia, demonstrando a manutenção do status hídrico foliar das plantas e atestando o contraste entre os tratamentos. Por outro lado, em déficit hídrico o  $\Psi_w$  na antemanhã ficou em torno de -0,3 a -0,4 MPa e ao meio - dia em torno de -1 MPa, demonstrando a recuperação parcial do status hídrico da folha. No entanto, a aplicação de KI e KIO<sub>3</sub>, especialmente nas dose 5 e 10 mM, mostraram-se benéficas pois promoveu valores de  $\Psi_w$  menos negativos quando comparadas às plantas sob dose 0 mM e com isso uma maior atenuação do estresse sob as folhas (Figura 2B e 2D).

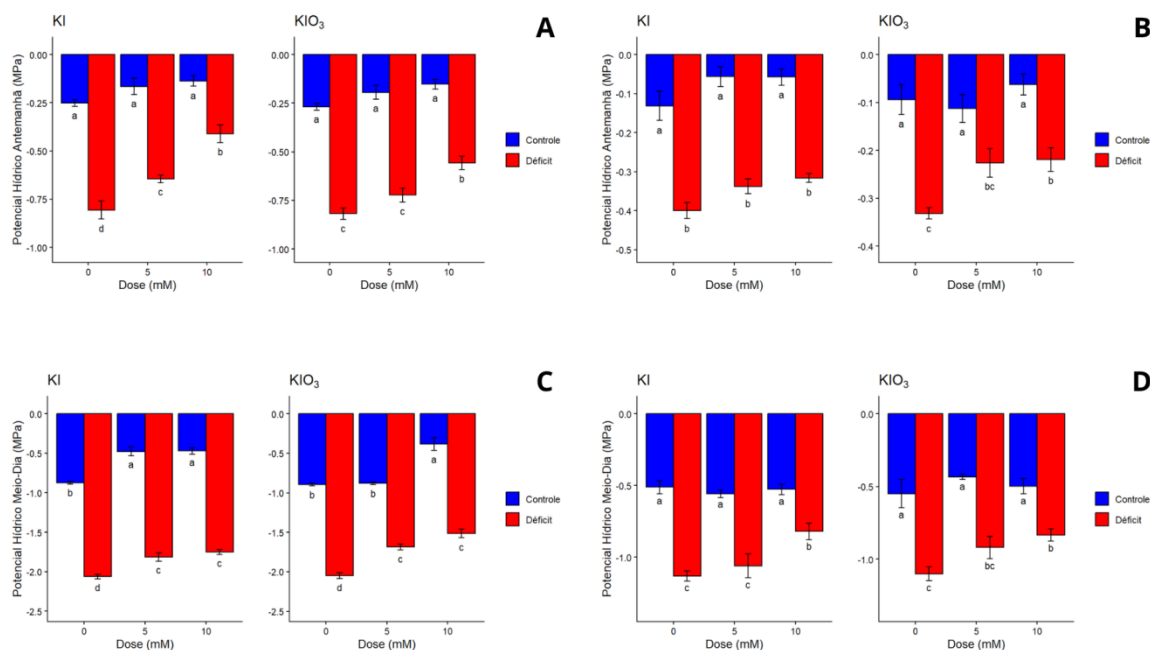


**Figura 2-** Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) da Cultivar NEO 680 IPRO de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5 mM e 10 mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - ( $KIO_3$ ).  $\Psi_w$  na antemã durante o período de déficit hídrico (A) e no período de recuperação (B) e o potencial hídrico ao meio-dia durante período de déficit hídrico (C) e no período de recuperação (D). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo dentro de cada fonte e condição hídrica, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão;  $n = 10$ ).

### 5.1.2 Condutância Estomática

A Cultivar NEO 680 IPRO de soja sob condição controle (80% CC) apresentou  $g_s$  entre 570 e 684 mmol  $H_2O$   $m^{-2} s^{-1}$ , dependendo da fonte e da dose de iodo. A redução em 50% CC (déficit hídrico) comprometeu fortemente a condutância estomática ( $g_s$ ) em todos os tratamentos. No tratamento com KI, as reduções foram de 79,3%, 73,3% e 64,4% para 0, 5 e 10 mM, respectivamente. Para  $KIO_3$  a redução foi de 79,3% na ausência de iodo, enquanto as doses 5 e 10 mM reduziram a  $g_s$  em 53,9% e 56,4%, respectivamente, em relação aos seus controles (Figura 2A).

Durante a fase de recuperação (Figura 3B), a  $g_s$  das plantas previamente submetidas ao déficit hídrico aumentou em relação ao período de estresse (Figura 3A). No entanto, os valores permaneceram inferiores aos observados nas plantas controle mantidas a 80% da capacidade de campo, evidenciando que a recuperação fisiológica não foi completa. Nos tratamentos com KI, as reduções em relação aos respectivos controles foram de 40,9%, 32,3% e 24,6% para 0, 5 e 10 mM, respectivamente. Já para  $KIO_3$  as reduções foram de

40,9%, 37,9% e 32% para 0, 5 e 10 mM. Quando comparadas apenas as plantas sob déficit hídrico, a dose de 10 mM apresentou os maiores valores de  $g_s$  tanto para KI quanto para  $KIO_3$ .

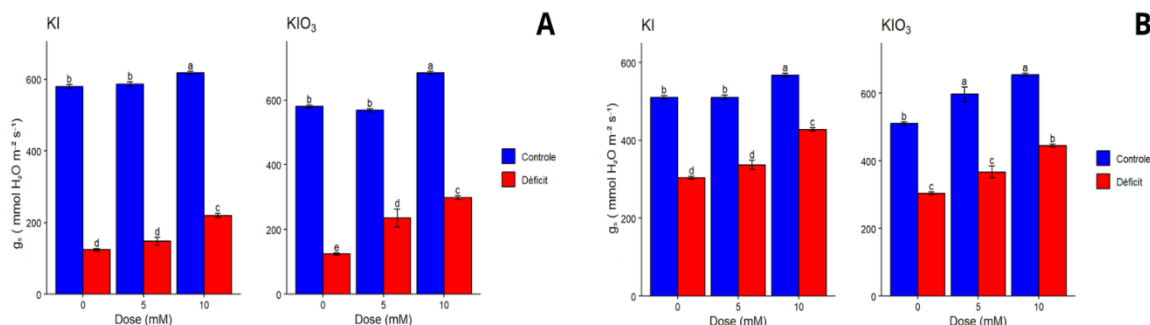


**Figura 3-** Condutância estomática ( $g_s$ ) da Cultivar NEO 680 IPRO de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5 mM e 10 mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - ( $KIO_3$ ). Avaliadas no período de déficit hídrico (A) e no período de recuperação (B). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte e condição hídrica, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam a média  $\pm$  erro-padrão ( $n = 5$ )).

### 5.1.3 Avaliações Biométricas e Produtivas

O déficit hídrico reduziu os parâmetros biométricos e produtivos das plantas, com respostas dependentes da fonte e da dose de iodo. Para a altura, a aplicação de KI e  $KIO_3$  promoveu alterações discretas sob condição de controle, com maior média observada na dose de 10 mM. Por outro lado, o déficit hídrico reduziu a altura em todos os tratamentos com redução de 21,2%, 14,6% e 16,9% para KI e de 16,3%, 13,3% e 12,6% para  $KIO_3$  nas mesmas doses (Figura 4A).

A aplicação de iodo (KI e  $KIO_3$ ), independentemente da doses, não alterou o diâmetro do caule (Figura 4B), mas o déficit hídrico promoveu pequenas reduções nessa variável, principalmente nos tratamentos sem aplicação de iodo, com reduções de 9,9% para KI 0 mM e 10, 5% KIO 0 mM. Nas plantas tratadas com iodo, as alterações foram menos acentuadas em comparação com altura e produtividade.

A aplicação do iodo na forma de KI e  $KIO_3$  corroborou para incrementos na produção das plantas sob tratamento controle (80% CC). Em relação ao tratamento 0 mM, as doses de 5 e 10 mM de KI aumentaram a produtividade em 15,7% e 37,2%, respectivamente, enquanto as doses de 5 e 10 mM de  $KIO_3$  promoveram aumentos de 36,7% e 55,6%. Por outro lado, o déficit hídrico reduziu a produtividade em todos os

tratamentos. Para KI, as reduções foram de 35%, 36,8% e 31,3% nas doses de 0, 5 e 10 mM respectivamente. Para KIO<sub>3</sub>, as reduções foram de 35%, 34,5% e 18,8%. Dessa forma, a dose de 10 mM de KIO<sub>3</sub> foi se destacou por apresentar a maior produtividade tanto sob condição controle, quanto sob déficit hídrico.

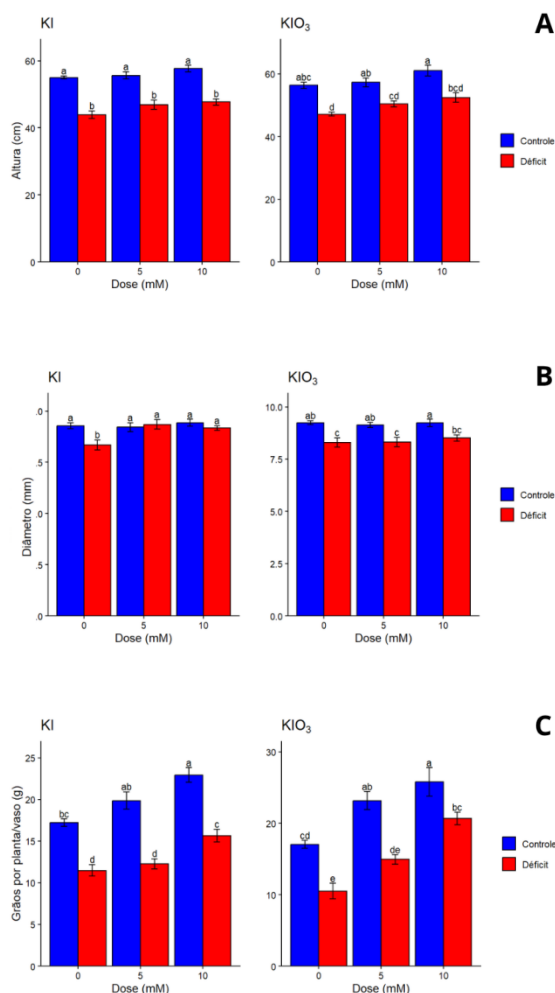


**Figura 4** - Característica de crescimento e produção como: altura (A), diâmetro do caule (B) e o número de grãos por planta/vaso (C) na Cultivar NEO 680 IPRO de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - (KIO<sub>3</sub>). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão  $\pm$  EP; n =10).

#### 5.1.4 Análise Proteica dos grãos

A aplicação foliar de iodo, nas fontes KI e KIO<sub>3</sub>, promoveu alterações discretas nos teores das frações proteicas dos grãos. Em condição controle, os teores médios de albumina variaram entre aproximadamente 19,8 e 20,9 mg g<sup>-1</sup> MF, os de globulina entre 23,0 e 24,6 mg g<sup>-1</sup> MF, e os de glutelina entre 27,2 e 29,4 mg g<sup>-1</sup> MF. De modo geral, as

doses de KI não promoveram alterações expressivas nessas frações. Por outro lado, a aplicação de  $\text{KIO}_3$ , especialmente na dose de 10 mM, resultou em incremento de aproximadamente 10,8% nos teores de albumina em relação ao tratamento 0 mM sob condição controle (Figura 5A).

O déficit hídrico reduziu os teores de albumina, globulina e glutelina nos grãos, independentemente da fonte de iodo aplicada. As reduções foram mais discretas para albumina, variando de aproximadamente 17 a 21%, enquanto globulina e glutelina apresentaram reduções mais acentuadas, variando de 27,9 a 35,7% e de 25,2 a 34,1%, respectivamente, em comparação aos respectivos controles (Figura 5A, 5B e 5C). Sob déficit hídrico, as doses de 10 mM de KI e  $\text{KIO}_3$  apresentaram os maiores valores de albumina e globulina dentro de cada fonte, indicando efeito parcial do iodo na manutenção dessas frações proteicas. Para glutelina, o efeito foi mais evidente com  $\text{KIO}_3$ , especialmente na dose de 10 mM, que apresentou maior teor sob déficit em relação ao tratamento 0 mM.

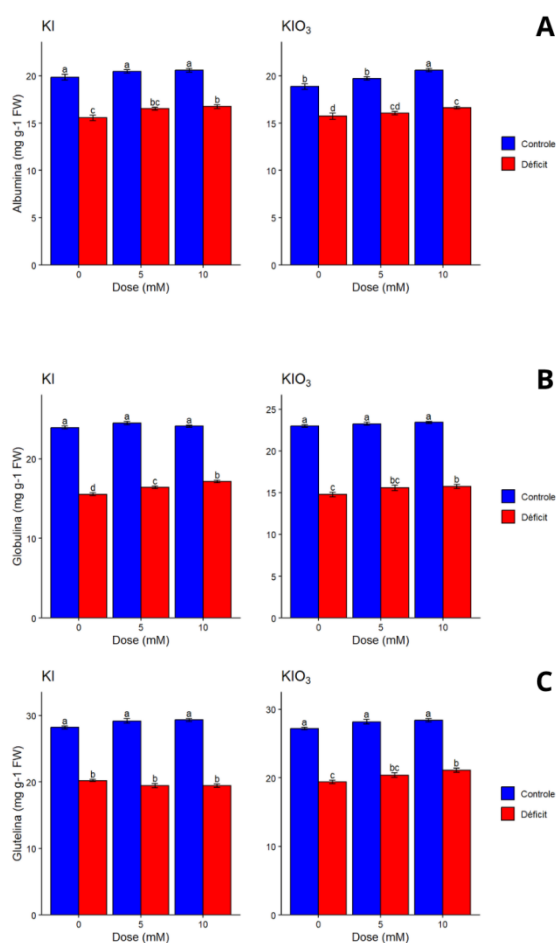


Figura 5 - Teor de albumina (A), globulina (B) e glutelina (C) em grãos de soja da Cultivar NEO 680 IPRO submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes

doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - ( $\text{KIO}_3$ ) colhidas ao final do ciclo de cultivo. As plantas foram submetidas à deficiência hídrica seguida de reidratação. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão  $\pm$  EP;  $n = 10$ ).

## 5.2 EXPERIMENTO II (CULTIVAR BRASMAX ATAQUE I2X)

### 5.2.1 Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )

De forma semelhante, para a cultivar Brasmax ATAQUE I2X a plantas com 80% da CC (Controle) apresentaram potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) em torno de -0,25 MPa na antemanhã e ao meio - dia naturalmente um  $\Psi_w$  em torno de -0,6 MPa. Mas a aplicação de  $\text{KIO}_3$  na concentração de 10 mM manteve o  $\Psi_w$  menos negativo em relação ao tratamento 0mM dessa fonte indicando melhor manutenção do status hídrico foliar.

Por outro lado, as plantas sob 50% da CC (déficit moderado) apresentaram redução significativa do potencial hídrico tanto na ante-manhã como ao meio-dia, demonstrando a condição de déficit hídrico a qual foram submetidas. Na antemanhã as plantas apresentaram valores de -0,7, -0,6 e -0,48 MPa para os respectivas concentrações de KI aplicada e -0,73, -0,67 e -0,55 MPa para os respectivas concentrações de  $\text{KIO}_3$  aplicadas. De forma semelhante, ao meio dia as plantas sob dose 0 de iodo, independente da fonte apresentaram  $\Psi_w$  de -2 MPa mas a aplicação de KI induziu à um  $\Psi_w$  menos negativo tanto para as doses de 5 quanto de 10 mM. Por outro lado a fonte de  $\text{KIO}_3$  mostrou-se mais eficiente na dose de 10 mM, pois apresentou valores menos negativos de  $\Psi_w$  na condição de déficit hídrico (-0,95) (Figura 6A e 6C).

No período de reidratação, o  $\Psi_w$  das plantas controle (80% CC) foram mantidos em torno de -0,2 MPa na antemanhã e -0,4 MPa ao meio-dia atestando a manutenção do status hídrico foliar das plantas e o contraste entre os tratamentos. Por outro lado, o déficit hídrico o  $\Psi_w$  na antemanhã ficou em torno de -0,45, -0,25 e -0,2 MPa independente da fonte de iodo, mas ao meio dia foi a dose de 10 mM de  $\text{KIO}_3$  que contribuiu significativamente para atenuar a redução do  $\Psi_w$  das plantas, com valores de até -0,39 para a maior concentração (Figura 6B e 6D).

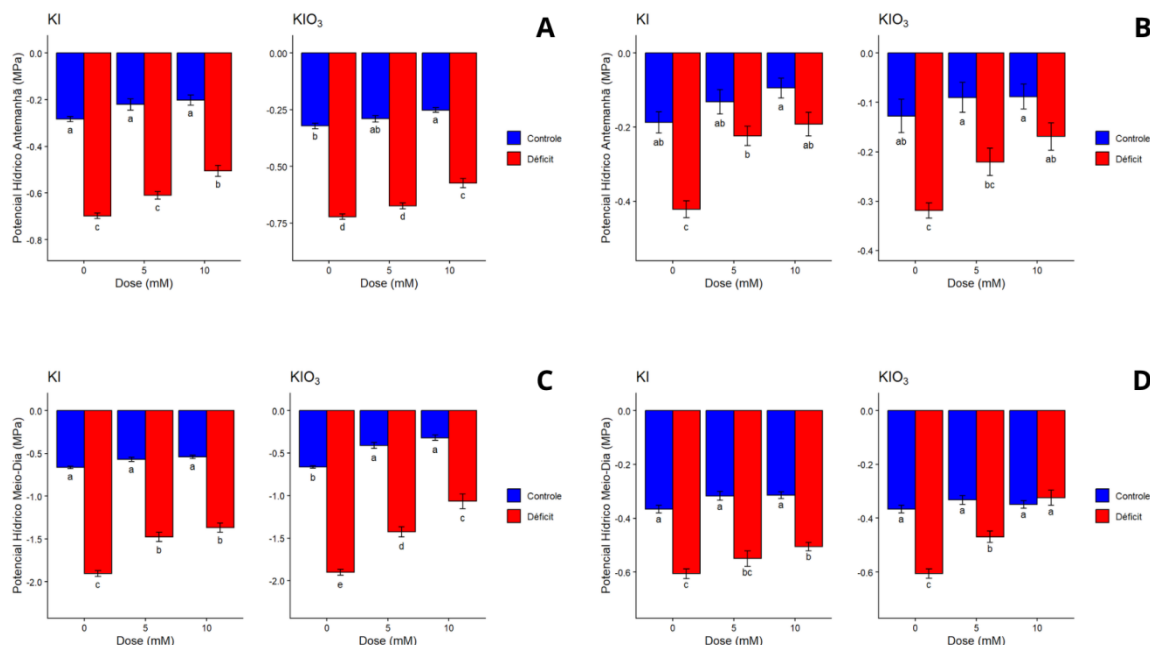


Figura 6 - Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) da Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - ( $\text{KIO}_3$ ).  $\Psi_w$  na antemanhã durante o período de déficit hídrico (A) e no período de recuperação (B) e o potencial hídrico ao meio-dia durante período de déficit hídrico (C) e no período de recuperação (D). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo dentro de cada fonte e condição hídrica, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão;  $n = 5$ ).

### 5.2.2 Condutância Estomática

A Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja sob condição controle (80% CC) apresentou  $g_s$  de aproximadamente 750 a 900  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mas a redução em 50% CC (déficit hídrico) reduziu acentuadamente a  $g_s$ , com reduções superiores a 80% nos tratamentos com KI. Por outro lado, a aplicação de 5 mM de  $\text{KIO}_3$  levou a uma redução de 78% da  $g_s$  e a aplicação de 10 mM de  $\text{KIO}_3$  concorreu para reduções na ordem de 70% quando comparada ao tratamento controle da fonte  $\text{KIO}_3$  (Figura 7A).

Durante a recuperação (Figura 7B), a  $g_s$  foi aumentada em relação ao período de déficit hídrico, mas em geral permaneceu inferior ao tratamento controle (80% CC). No entanto, a concentração de 10mM de  $\text{KIO}_3$  apresentou  $g_s$  de aproximadamente 500  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  semelhante ao tratamento com 80% de CC, demonstrando a capacidade dessa dose/concentração em contribuir para a recuperação da  $g_s$  da cultivar.

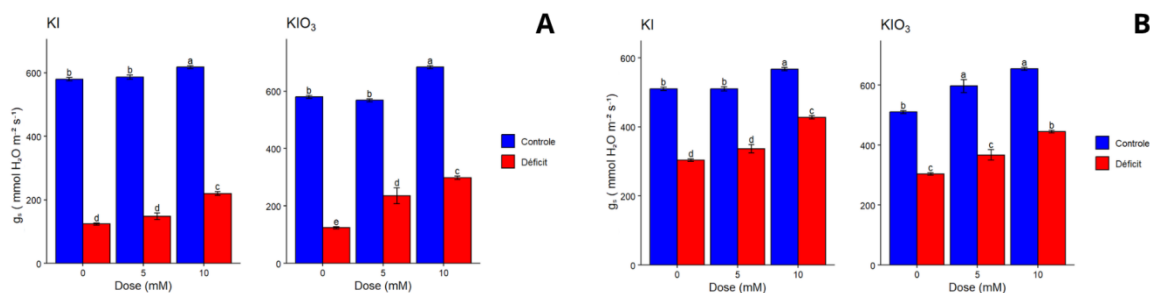


Figura 7 -Condutância estomática ( $g_s$ ) da Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - (KIO<sub>3</sub>). Avaliadas no período de déficit hídrico (A) e no período de recuperação (B). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte e condição hídrica, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão; n =5).

### 5.2.3 Avaliações Biométricas e Produtivas

Para a cultivar Brasmax ATAQUE I2X não se observou alteração da altura de plantas e diâmetro das plantas controle quando submetidas a aplicação de doses de KI e KIO<sub>3</sub>. No entanto, a aplicação de 10 mM de KI e KIO<sub>3</sub> promoveu incremento de 11,7% na produção em relação ao tratamento 0 mM, enquanto o KIO<sub>3</sub> a 10 mM resultou em incremento 48,9% na produção da cultivar.

O déficit hídrico reduziu os parâmetros biométricos e produtivos das plantas, com respostas dependentes da fonte e da dose de iodo. Dessa forma, o déficit hídrico reduziu a altura das plantas em 31%, 19% e 14% respectivamente para as doses de KI e 31%, 14% e 3% respectivamente para as doses de KIO<sub>3</sub>, demonstrando que a aplicação de iodo reduz os efeitos negativos do déficit hídrico na altura das plantas (Figura 8A). A aplicação de iodo (KI e KIO<sub>3</sub>), independentemente da doses, não alterou o diâmetro do caule (Figura 8B), mas o déficit hídrico concorreu para reduções no diâmetro do caule de plantas independentemente das concentrações de iodo (KI e KIO<sub>3</sub>) aplicadas.

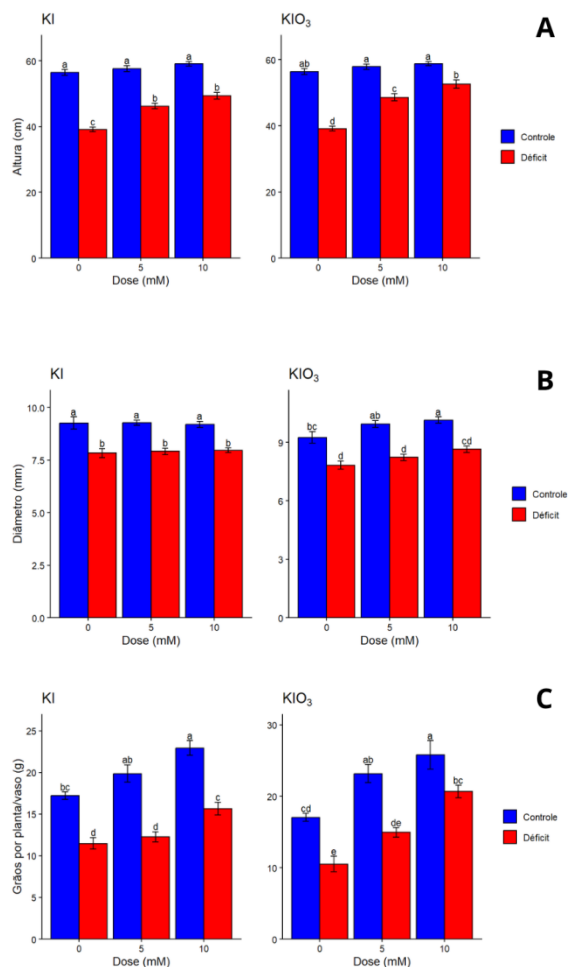


Figura 8 - Característica de crescimento e produção como: altura (A), diâmetro do caule (B) e o número de grãos por planta/vaso (C) na Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - (KIO<sub>3</sub>). Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão; n =5).

O déficit hídrico também comprometeu em 50% a produção da cultivar, mas o uso das fontes de iodo atenuou as perdas de produção causadas pelo déficit hídrico (Figura 8A, 8B, 8C). Com isso, semelhantemente a cultivar NEO 680 IPRO, para a cultivar Brasmax ATAQUE I2X a aplicação de KI independente das doses levou incrementos de 50% (Figura 9B e 9D) e a aplicação de KIO<sub>3</sub> promoveu ganhos na ordem de 50% e 87% respectivamente para as doses utilizadas em relação a dose 0 mM (Figura 10E e 10F).

Por fim, interessantemente a aplicação de KIO<sub>3</sub> corroborou para incrementos na produção das plantas sob tratamento controle (80% CC) as quais apresentaram ganhos

crescentes em relação às doses aplicadas (5 e 10 mM) em que as plantas apresentaram incrementos na ordem de 11% e 49% em relação a dose 0 mM (Figuras 7C e 9C ). Demonstrando que o uso destas fontes de iodo podem promover ganho de produção em condições de cultivo irrigado e sob déficit hídrico.



**Figura 9-** Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja cultivadas sob 80% da capacidade de campo e tratadas com 0 mM (A), 5 mM (B) e 10 mM (C) de KI. Plantas cultivadas sob 50% da capacidade de campo (déficit hídrico moderado) e tratadas com 0 mM (D), 5 mM (E) e 10 mM (F) de KI após a reidratação.



**Figura 10-** Cultivar Brasmax ATAQUE I2X de soja cultivadas sob 80% da capacidade de campo e tratadas com 0 mM (A), 5 mM (B) e 10 mM (C) de  $\text{KIO}_3$ . Plantas cultivadas sob 50% da capacidade de campo (déficit hídrico moderado) e tratadas com 0 mM (D), 5 mM (E) e 10 mM (F) de  $\text{KIO}_3$  após a reidratação.

#### 5.2.4 Análise Proteica dos Grãos

Para a cultivar Brasmax ATAQUE I2X, sob condição controle, a aplicação foliar de iodo promoveu alterações discretas nos teores das frações proteicas dos grãos. Os teores médios de albumina variaram entre aproximadamente 29,5 e 36,3  $\text{mg g}^{-1}$  MF, os de globulina entre 18,7 e 21,8  $\text{mg g}^{-1}$  MF, e os de glutelina entre 31,7 e 34,3  $\text{mg g}^{-1}$  MF (Figura 11A, 11B e 11C). De maneira geral, não foi observado padrão consistente de incremento das frações proteicas sob condição controle, indicando que os efeitos da aplicação de iodo foram mais evidentes sob déficit hídrico.

O déficit hídrico reduziu os teores de albumina, globulina e glutelina nos grãos, com intensidade variável conforme a fonte e a dose de iodo aplicada. Nos tratamentos com KI, as reduções em relação aos respectivos controles variaram de 39,6% a 61,6% para albumina, de 51,0% a 63,2% para globulina e de 33,1% a 38,3% para glutelina. Nos tratamentos com  $\text{KIO}_3$ , as reduções foram menos acentuadas nas doses de 5 e 10 mM, principalmente para albumina e globulina, indicando maior manutenção dessas frações sob déficit hídrico (Figura 11A e 11B). Sob déficit hídrico, a aplicação de  $\text{KIO}_3$  favoreceu a

manutenção dos teores de albumina e globulina em relação ao tratamento 0 mM.

Para albumina, os incrementos foram de aproximadamente 51,5% e 65,4% nas doses de 5 e 10 mM, respectivamente. Para globulina, os incrementos foram de aproximadamente 65,2% e 40,5% nas doses de 5 e 10 mM, respectivamente. Já para glutelina, os incrementos foram mais discretos, correspondendo a aproximadamente 1,7% e 6,1% nas doses de 5 e 10 mM. Dessa forma, a aplicação de  $\text{KIO}_3$  contribuiu principalmente para a manutenção de albumina e globulina nos grãos de soja sob déficit hídrico.

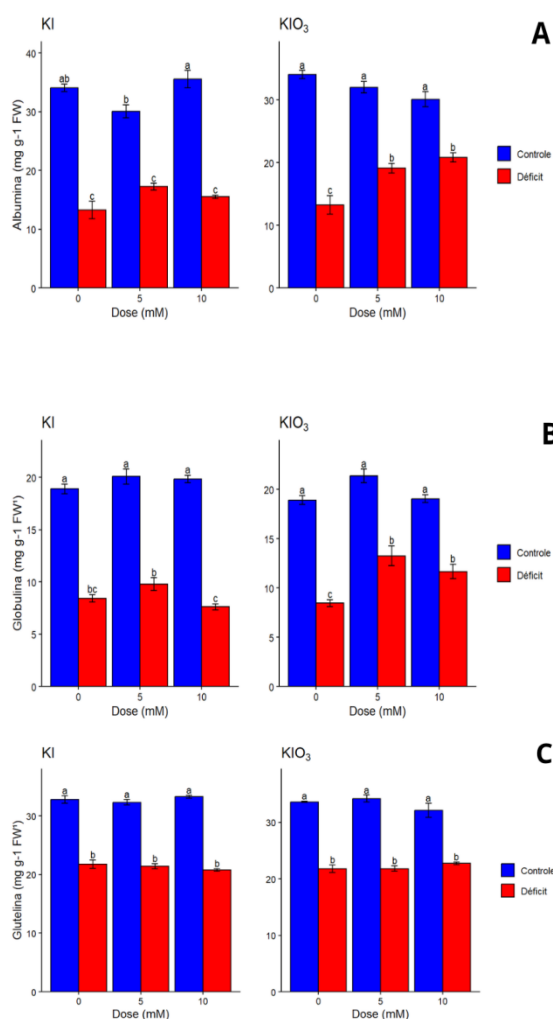


**Figura 11-** Teor de albumina (A), globulina (B) e glutelina (C) em grãos de soja da cultivar Brasmax ATAQUE I2X submetidas à condição controle (80% CC) e déficit hídrico (50% CC), sob diferentes doses (0 mM, 5mM e 10mM) de iodeto de potássio - (KI) e iodato de potássio - ( $\text{KIO}_3$ ) colhidas ao final do ciclo de cultivo. As plantas foram submetidas à deficiência hídrica seguida de reidratação. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as concentrações de iodo, comparadas separadamente dentro de cada fonte, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ; As barras representam média  $\pm$  erro-padrão; n=5).

## 6 DISCUSSÃO

O iodo é considerado um elemento não-essencial às plantas, mas promove benefícios como incremento na atividade do sistema antioxidante, maior produção e tolerância a estresses abióticos como seca (Lima et al., 2023), metais pesados (Gupta et al., 2015) e salino (Blasco et al., 2013), por isso pode ser considerado um elemento benéfico ou bioestimulante (Ramirez et al., 2025). Interessantemente, observamos que quando aplicamos KIO<sub>3</sub> no tratamento sob 80% CC houve a manutenção do  $\Psi_w$  ao meio-dia mais próximos de zero, ou seja, demonstrando que mesmo sob a máxima pressão para os processos de transpiração, as plantas mantiveram o status hídrico da foliar e assim seus processos fotossintéticos (Avila et al., 2021). Além disso, também observamos um aumento de aproximadamente 48 % na produção, semelhante ao observado por Fuentes et al. (2022) para o tomateiro, demonstrando seu efeito benéfico para as culturas e seu potencial uso na agricultura, além disso, com a aplicação via foliar é possível ampliar o uso de fontes como iodato (Hong et al., 2012) como foi observado, pois sua aplicação mostrou-se benéfica para a produção da soja. Certamente associado ao aprimoramento de características fisiológicas e bioquímica das plantas (Ramirez et al., 2025).

A soja é uma cultura sensível ao déficit hídrico, dessa forma as plantas o status hídrico da folha não atendem a demanda dos processos de trocas gasosas, e naturalmente a soja atinge este limiar quando o  $\Psi_{wdo}$  solo fica abaixo de -1,2 Mpa, que normalmente ocorre sob 50 a 60% da CC (Burner et al., 2026), nestas condições observam-se alterações morfológicas e bioquímicas que certamente comprometem processos fisiológicos e a produtividade (Acevedo et al., 2026).

Neste trabalhos, foi possível observar que a restrição hídrica aplicada (50% CC) foi suficiente para comprometer o status hídrico das folhas, concorrendo para valores de  $\Psi_w$  ao meio dia significativamente mais negativos chegando a -2 MPa em ambas cultivares avaliadas, concorrendo para o comprometimento de 80% das trocas gasosas ( $g_s$ ) e possivelmente as taxas fotossintéticas como observado por Lima et al. (2023) em tomateiro.

A redução do potencial hídrico foliar observada nas plantas submetidas ao déficit hídrico demonstra que a restrição de água no solo compromete a hidratação dos tecidos vegetais. Esse efeito foi observado em ambas as cultivares, principalmente ao meio-dia, quando os valores de potencial hídrico foram mais negativos. Esse comportamento pode

ser explicado pelo aumento da demanda evaporativa nesse horário, o que intensifica a perda de água pelas folhas e reduz a capacidade da planta de manter o equilíbrio entre absorção radicular e transpiração. A diminuição do potencial hídrico está associada à perda de turgor celular, à limitação da expansão foliar e à ativação de mecanismos de conservação de água, como o fechamento estomático, respostas frequentemente observadas em plantas sob déficit hídrico (Burner et al., 2026; Chaves et al., 2003).

A redução da condutância estomática observada nas plantas sob déficit hídrico reforça a ocorrência de uma resposta fisiológica de conservação de água (Wankmüller e Carminati, 2021).

Em ambas as cultivares, essas respostas foram observadas e está diretamente relacionada à redução do  $\Psi_{w\text{foliar}}$  (Avila et al. 2021), uma vez que a perda de água nos tecidos induz o fechamento parcial dos estômatos como estratégia para limitar a transpiração. No entanto, embora esse mecanismo reduza a perda de água, ele também restringe a entrada de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar, limitando a fotossíntese e a produção de fotoassimilados. Assim, a menor condutância estomática observada sob déficit hídrico é um fatores limitantes à assimilação de carbono, o que pode comprometer o crescimento vegetativo e na produtividade das plantas (Lima et al., 2023; Chaves et al., 2009; Pinheiro; Chaves, 2011).

Adicionalmente, também observamos redução na altura para ambas as cultivares e a cultivar Brasmax ATAQUE I2X também apresentou reduções no diâmetro do caule. Estes resultados observados demonstram que a sensibilidade das cultivares de soja ao déficit hídrico, principalmente no estágio reprodutivo, é caracterizada por elevada demanda por água, carbono e nutrientes para sustentar o florescimento, e enchimento de grãos e a formação de reservas nas sementes (Burner et al. 2016; Chaves et al., 2003; Chaves et al., 2009) e de maneira significativa compromete o crescimento, produção e qualidade da produção (Burner et al., 2026; Rasheed et al., 2022).

Dessa forma, nossos resultados obtidos neste estudo demonstram que 50% CC, déficit hídrico moderado, mostrou-se efetivo e suficiente para comprometer o desempenho fisiológico, morfológico, produtivo e a qualidade da produção de de cultivares de soja.

O déficit hídrico também reduziu os teores das frações proteicas dos grãos (Albumina, globulina e Glutelina) e alterou a composição bioquímica das sementes, afetando a qualidade de produção. Essa resposta pode estar relacionada à menor assimilação de carbono, à limitação do metabolismo nitrogenado e à menor disponibilidade de fotoassimilados durante o enchimento dos grãos em função da restrição

hídrica (Avila et al. 2021; Lima et al., 2023). Além disso, o déficit hídrico pode ter comprometido o transporte de fotoassimilados e a relação fonte-dreno alterando a composição das sementes e sua qualidade fisiológica e nutricional (Bredemeier, 2000; Du et al., 2020).

A aplicação de iodo tanto como KI como  $\text{KIO}_3$ , foi relatada por muitos autores (Incrocci et al. 2019; Blasco et al., 2013; Gupta et al., 2015; Fuentes et al. 2022; Ramirez et al., 2025 e Lima et al., 2023) e todas demonstram efeitos benéficos a sua aplicação, no entanto, existe um limiar entre as doses que são adequadas as culturas e as doses que podem causar fitotoxidez como observado por Incrocci et al. (2019), por isso este trabalho se propôs a estudar as fontes e doses de iodo.

A aplicação de KI como  $\text{KIO}_3$  mostraram manter o  $\Psi_w$  na antemanhã e ao meio-dia com valores menos negativo, ou seja, demonstrando manutenção da hidratação dos tecidos o que suporta a manutenção de estômatos mais abertos e maiores valores de  $g_s$ , principalmente para a dose de 10 mM de  $\text{KIO}_3$  tanto para a cultivar NEO 680 IPRO como para Brasmax ATAQUE I2X, concorrendo para uma menor limitação difusiva à entrada de  $\text{CO}_2$  e maiores taxas fotossintética como observado por Lima et al. (2023) o que pode está de relacionado com a capacidade do iodo de manter ou melhorar o desempenho fotossintético de plantas como tomate soja em função de uma maior atividade de enzimas do sistemas antioxidantes que evita a formação de espécies reativas de oxigênio e mantém a integridade das membranas (Lima et al. 2023; Gupta et al. 2015).

A aplicação de  $\text{KIO}_3$  também promoveu um incremento na altura, principalmente na concentração de 10 mM para a cultivar Brasmax ATAQUE I2X associado a maior produção, que aliás também foi observada para a cultivar NEO 680 IPRO, demonstrando os efeitos benéficos iodo na dose de 10 mM, independente da fonte aplicada via foliar, reforçando que o uso de aplicação via foliar permite o uso de ambas fontes, por outro lado a aplicação via solo, torna a fonte  $\text{KIO}_3$  mais assimilada pelas plantas (Hong et al., Ramirez et al., 2025). Demonstrando os benefícios em produtividade ao utilizar o iodo como um elemento benéfico em sistemas de cultivo de soja, capaz de aumentar a produção, atenuando estresses por secas, cada vez mais comum em um cenário de aquecimento global (Burner et al., 2026).

Adicionalmente, a aplicação de  $\text{KIO}_3$  na concentração de 10 mM aumentou o teor de albumina e globulina nas sementes da cultivar Brasmax ATAQUE I2X, alterando as proporções de proteínas de reserva (Cabanos et al. 2021) e a qualidade dos frutos como observado por Fuentes et al. (2022) em tomate. Esse efeito pode estar associado à melhor

manutenção do estado hídrico e da condutância estomática, favorecendo maior estabilidade metabólica durante o período reprodutivo e contribuindo para a preservação parcial da composição proteica dos grãos.

Essa resposta está de acordo com estudos anteriores que indicam o potencial do iodo como elemento benéfico capaz de modular respostas fisiológicas e antioxidantes em plantas sob condições de déficit hídrico (Lima et al., 2023).

As alterações observadas no potencial hídrico e na condutância estomática refletiram diretamente nos parâmetros biométricos e produtivos das plantas. O déficit hídrico reduziu a altura, o diâmetro do caule e a produção de grãos em ambos os experimentos, evidenciando que a limitação hídrica compromete não apenas processos fisiológicos imediatos, mas também o desempenho final da cultura (Figuras 3 e 7). Essa redução pode ser atribuída à menor disponibilidade de água para manutenção do turgor celular, à limitação da expansão dos tecidos e à menor assimilação de carbono decorrente do fechamento estomático (Chaves et al., 2003; Chaves et al., 2009). Além disso, quando o déficit hídrico ocorre durante o estágio reprodutivo, como neste estudo, seus efeitos podem ser ainda mais expressivos, uma vez que essa fase apresenta elevada demanda por fotoassimilados para florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos. Apesar disso, a aplicação de iodo atenuou parcialmente a redução dessas frações, principalmente nos tratamentos com  $\text{KIO}_3$  na dose de 10 mM.

A fase de reidratação demonstrou que o retorno para a CC de 80% não foi suficiente para restabelecer completamente o funcionamento fisiológico das plantas, mas possibilitou uma recuperação parcial do status hídrico da folha e  $g_s$ . Esse comportamento foi observado principalmente pelos valores de  $\Psi_w$  menos negativos ao meio-dia e na antemanhã. No entanto, ao cultivar NEO 680 IPRO, independente das fontes de iodo, houve um incremento de  $g_s$  (26 e 36%) crescente quando aplicadas as doses de 5 e 10 mM de ambas as fontes. Por outro lado, ao cultivar Brasmax ATAQUE I2X a reidratação do solo (80% CC) foi suficiente para restaurar a  $g_s$  trazendo pequenos efeitos de dose e fonte.

Sendo assim, foi possível observar que a recuperação das plantas não deve ser interpretada apenas como consequência da reposição de água no solo, mas também como resultado da capacidade fisiológica da cultivar em retomar o transporte de água e abertura estomática, da intensidade do estresse hídrico grau de limitação estomática e da capacidade da planta em restabelecer a difusão de  $\text{CO}_2$  e o metabolismo fotossintético após a reidratação (Chaves et al., 2009).

Este estudo demonstrou que ambas as fontes podem ser utilizadas para as cultivares

em questão, em contraste aos resultados encontrados para soja (Lima et al. 2023) e tomate (Maia, 2025) em que a fonte KI se mostrou mais promissora e manteve maiores valores de  $g_s$  durante o estresse. Mas vale a ressalva de que para o tomateiro a aplicação de KIO3 promoveu a melhor recuperação de  $g_s$  na fase de reidratação (Maia, 2025), pois ambas as fontes são efetivas para recuperar o  $\Psi_w$ , e em alguns casos sustentando aumento em  $g_s$ .

Após a reidratação, o aumento da  $g_s$  sugere retomada parcial da abertura estomática, porém os valores ainda permanecem inferiores ou próximos aos controles em alguns tratamentos, demonstrando que a recuperação fisiológica foi dependente da fonte e dose de iodo aplicada. Essa resposta também pode estar associada à manutenção de sinais hormonais induzidos durante o déficit, principalmente o ABA, que continua regulando a abertura estomática mesmo após a reposição de água, retardando a recuperação completa das trocas gasosas (Pinheiro; Chaves, 2011; Tombesi et al., 2015).

De forma geral, os resultados indicam que o déficit hídrico comprometeu inicialmente o status hídrico das plantas, refletido pelos valores mais negativos de  $\Psi_w$ . Essa alteração esteve associada à redução da condutância estomática, indicando limitação das trocas gasosas e, conseqüentemente, menor assimilação de carbono, uma vez que a fotossíntese é um dos processos mais afetados pelo déficit hídrico, principalmente pela menor difusão de  $CO_2$  até os cloroplastos (Chaves et al., 2009; Pinheiro; Chaves, 2011). Como resultado, houve redução do crescimento, da produção de grãos e das frações proteicas das sementes, respostas que podem estar relacionadas à menor disponibilidade de fotoassimilados e às alterações no metabolismo do nitrogênio durante o enchimento dos grãos sob estresse hídrico (Du et al., 2020; Sehgal et al., 2018)

Por fim, a maior dose utilizada não provocou fitotoxicidade e está de acordo com a maioria dos trabalhos para espécies herbáceas (Incrocci et al. 2019; Blasco et al. 2013; Fuentes et al. 2022, Lima et al. 2023; Kiferle et al. 2019). Sendo principalmente a dose de 10 mM KIO3 a que promoveu maiores ganhos metabólico (Lima et al. 2023) e produção (Fuentes et al. 2022), provavelmente associado aumento nas atividades do sistema antioxidante e presença de osmorreguladores como já foi citado em muitos trabalhos (Gupta et al. 2015; Blasco et al. 2013), no entanto, cabe mais análises e estudos para melhor compreensão dos efeitos benéficos do iodo nas plantas.

## 8 CONCLUSÃO

O déficit hídrico moderado comprometeu significativamente o desempenho fisiológico, morfológico, produtivo e bioquímico das cultivares de soja. De modo geral, a

restrição hídrica reduziu o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, o crescimento das plantas, a produção de grãos e os teores das frações proteicas das sementes, o que evidencia a elevada sensibilidade da cultura à limitação de água, especialmente quando esta ocorre durante o estágio reprodutivo.

A aplicação foliar de iodo atuou na atenuação parcial dos efeitos deletérios causados pelo déficit hídrico. Embora a suplementação não tenha eliminado totalmente os danos advindos da restrição de água, o iodo contribuiu para a manutenção do status hídrico foliar, favoreceu a recuperação da condutância estomática e mitigou as perdas observadas no crescimento, na produtividade e na composição proteica dos grãos.

Entre as fontes avaliadas, o  $\text{KIO}_3$  proporcionou respostas mais pronunciadas em comparação ao KI, com destaque para a dose de 10 mM. Dessa forma, sob as condições experimentais estabelecidas neste estudo, a combinação de  $\text{KIO}_3$  a 10 mM apresentou-se como a estratégia mais promissora para mitigar os impactos do déficit hídrico moderado nas cultivares de soja avaliadas.

Conclui-se que o iodo possui potencial como ferramenta complementar no manejo fisiológico da soja sob condições de déficit hídrico, especialmente quando fornecido via foliar na forma de  $\text{KIO}_3$ . Contudo, investigações adicionais são fundamentais para elucidar os mecanismos fisiológicos envolvidos, determinar a segurança das concentrações utilizadas e validar a eficácia desta abordagem em escala de campo.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Water deficit and plant recovery affect interaction between soybean and slender amaranth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1-9, 2020.
- ALMEIDA NETO, I. P. et al. Avaliação das características morfológicas mudas de cajueiro sob déficit hídrico em condições de semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 8-11, 2015.
- ALSHAAL, T.; EL-RAMADY, H. Foliar application: from plant nutrition to biofortification. **Environment, Biodiversity and Soil Security**, v. 1, p. 71-83, 2017.
- ALTAF, M. A. et al. Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, p. 309, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/antiox11020309>>. Acesso em: 2 jun. 2026.
- ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1247–1257, dez. 1995.
- ANDRADE, O. V. S. et al. The role of potassium iodate in mitigating the damages of water deficit in coffee plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42729-024-01939-y>>. Acesso em: 2 jun. 2026.
- ASADA, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. **Plant Physiology**, v. 141, n. 2, p. 391-396, 2006.
- AVILA, Rodrigo T. et al. Elevated air [CO<sub>2</sub>] improves photosynthetic performance and alters biomass accumulation and partitioning in drought-stressed coffee plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 177, art. 104137, 2020. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104137.
- AVILA, Roniel Geraldo et al. Application of silicon to irrigated and water deficit sorghum plants increases yield via the regulation of primary, antioxidant, and osmoregulatory metabolism. **Agricultural Water Management**, v. 255, art. 107004, 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107004.
- ACEVEDO, Andres Felipe Gaona; RODRIGUES, Juliana Nascimento. Physiological and biochemical adjustments in soybean induced by biostimulants application under water deficit stress. **South African Journal of Botany**, v. 190, p. 144–155, 2026. DOI: 10.1016/j.sajb.2026.01.004.
- BALARDIN, R. S. et al. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Revista Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1120-1126, 2011.
- BARBOSA, J. R. et al. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4200–4210, 2020.
- BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração foliar e condutância estomática da cana-de-açúcar em função do clima e disponibilidade de água. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 675-689, 2017.
- BASARTI, C. et al. Iodine biofortification influences defense-related gene expression in tomato plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 69, p. 10479-10488, 2021.
- BASTOS, F. J. C. et al. Estudo da ação de osmoprotetores na fluorescência da clorofila a em plantas de feijão submetidas à supressão hídrica. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017. *Anais...* [S. l.]: IV Inovagri International Meeting, 2017. p. 1-9.
- BATRA, N. G.; SHARMA, V.; KUMARI, N. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and thylakoid membrane proteins of *Vigna radiate*.

**Journal of Plant Interactions**, v. 9, n. 1, p. 712-721, 2014.

BATTISTI, R. et al. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 390-396, 2013.

BAUWE, H.; HAGEMANN, M.; FERNIE, A. R. Photorespiration: players, partners and origin. **Trends in Plant Science**, v. 15, p. 330-336, 2010.

BAUWE, H. et al. Photorespiration has a dual origin and manifold links to central metabolism. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 15, p. 269-275, 2012.

BURNER, N et al. Drought tolerance in soybean: genetics, metabolomics, remote sensing, and breeding for enhanced drought tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 17, art. 1733525, 2026. DOI: 10.3389/fpls.2026.1733525.

BORNETTE, G.; PUJALON, S. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. **Aquatic Sciences**, v. 73, p. 1-14, 2011.

BOSE, J. et al. Silicon and magnesium alleviate drought stress in plants by enhancing osmotic adjustment and antioxidant defence. **Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 205-217, 2014.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a Soja é Atualizado no Brasil**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/zoneamento-agricola-de-risco-climatico-para-soja-e-atualizado-no-brasil>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, n. 4, p. 677-702, 2007.

BUDKE, C.; MÜHLING, K. H.; DAUM, D. Iodine uptake and translocation in apple trees grown under protected cultivation. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 183, n. 4, p. 468-481, 2020. CABRAL, M. S. **Geração de demanda das cultivares de soja brasmax no oeste baiano**. 2019. 33 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Tocantins, [S. l.], 2019. CAMARGO, L. M. et al. Teor relativo de água em cultivares de soja sob três níveis de disponibilidade hídrica no solo. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 5., 2010, . *Anais...* [S. l.]: Embrapa

Soja, 2010. p. 102-104.

CAMPELO, D. H. et al. Características morfofisiológicas foliares e estado nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 924-936, 2018. CANTELLI, K. C. **Caracterização de linhagens de soja Glycine max (L.) Merrill para produção de brotos**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – URI – Erechim, 2016. CARMELLO, Q. A. C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Revista Visão Agrícola**, v. 3, n. 5, p. 8-11, 2006.

CASTRO, J. N. **Resistência ao déficit hídrico e à temperatura supraótima em cultivares de soja**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal Goiano, [Local não especificado], 2016.

CASTRO, L. S.; MIRANDA, M. H.; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e a produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 69-87, 2015.

CABANOS, Cerrone; MATSUOKA, Yuki; MARUYAMA, Nobuyuki. Soybean proteins/peptides: a review on their importance, biosynthesis, vacuolar sorting, and accumulation in seeds. **Peptides**, v. 143, art. 170598, 2021. DOI: 10.1016/j.peptides.2021.170598.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **EDP Sciences**, 2018. CHAVARRIA, G. et al. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009. CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 3, p. 239–264, 2003. CHAWLA, S. et al. A public program to evaluate commercial soybean cultivars for pathogen and pest resistance. **The American Phytopathological Society**, v. 97, n. 5, p. 568-578, 2013. CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020**. [S. l.]: CONAB, 2020. v. 7, n. 12, p. 1-33.

COSTA, R. S. et al. Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, p. 1-14, 2020.

DEL RÍO, L. A. et al. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes: production, scavenging, and role in cell signaling. **Plant Physiology**, v. 141, p. 330-335, 2006. DIAS, K. D. G. **Hidrolisado de peixe e Bradyrhizobium japonicum no tratamento de sementes de soja (Glycine max L. Merrill)**. 2019. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro Universitário São Lucas de Ji-Paraná, [Local não especificado], 2019.

DISCHE, Z. Methods in carbohydrates chemistry. In: WHISTLER, R.; KEARSLEY, M. W. (Ed.). **Methods in Carbohydrates Chemistry**. 2. ed. New York: Academic Press, 1962. p. 478–512. DU, H. et al. Drought stress physiology and adaptation in soybean. **Physiologia Plantarum**, v. 168, n. 3, p. 591–605, 2020.

DU, Y. et al. Drought stress in soybean: responses, adaptation and mitigation. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1–17, 2020.

DU, Y. et al. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. **Journal Elsevier**, v. 146, p. 1-12, 2020.

EILERT, J. B. et al. Melhoramento e seleção de feijoeiro comum por meio de modelos mistos para resistência/tolerância à seca. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 9, n. especial, p. 246-268, 2020. EMBRAPA. **Dados Econômicos**. [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 3 jul. 2024. ENGELBRECHT, B. M. J. et al. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. **Nature**, v. 447, n. 7140, p. 80-82, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 1044-1064, 2009.

FAQUIN, V.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E. **Cultivo de plantas em ambiente controlado: solução nutritiva, hidroponia e em vasos com solo**. Lavras: UFLA, 2008. 177 p.

FENG, Z. et al. Applications of metabolomics in the research of soybean plant under abiotic stress. **Food Chemistry**, v. 310, p. 1-9, 2020.

FERNÁNDEZ, V.; BROWN, P. H. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar applied nutrients. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 289, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

FERRÃO, R. G. et al. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incap em Revista**, v. 7, n. 4, p. 51-71, 2016.  
FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Revista Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FIGUEIREDO, S. L. et al. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 342-349, 2011.

FIGUEIREDO, S. L. et al. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.  
GARCÍA FUENTES, José E. et al. Outcomes of foliar iodine application on growth, minerals and antioxidants in tomato plants under salt stress. **Folia Horticulturae**, v. 34, n. 1, p. 27-37, 2022. DOI: 10.2478/fhort-2022-0003.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, p. 862-868, 2009. FPA AGROPECUÁRIA. **Importância da Soja para o Brasil**. [S. l.]: FPA Agropecuária, 2021. Disponível em: <<https://fpagropecuaria.org.br/2021/10/18/importancia-da-soja-para-o-brasil/>>. Acesso em: 3 jul. 2024.

GALE, F.; VALDES, C.; ASH, M. **Interdependence of China, United States and Brazil in soybean**

**trade**. [S. l.]: Economic Research Service, USDA, 2019. (Special Outlook Report OCS-19F-01).  
GAVA, R. et al. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

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

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.-M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

GHEYI, H. R. et al. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. [S. l.]: [Editora não especificada], 2012. v. 1. 282 p.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 315-318, fev. 1977. Disponível em: <<https://doi.org/10.1104/pp.59.2.315>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

GOBBI, R. C.; CASIMIRO, E. L. N. Efeitos de níveis de desfolha em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 3, p. 249-258, 2019.

GOMES, J. M. et al. Transcriptome-Wide Identification of Reference Genes for Expression Analysis of Soybean Responses to Drought Stress along the Day. **PLOS ONE**, v. 10, n. 5, p. 1-16, 2015. GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. O papel dos elementos benéficos no desencadeamento de respostas adaptativas aos estressores ambientais. In: **Tolerância ao estresse biótico e abiótico em plantas**. 1. ed. [S. l.]: [Editora não especificada], 2015. p. 100-115.

- GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. O papel dos elementos benéficos no desencadeamento de respostas adaptativas aos estressores ambientais e na melhoria do desempenho da planta. In: **Na Tolerância ao Estresse Biótico e Abiótico em Plantas**. Berlin/Heidelberg: Springer, 2018. p. 137-172. GUADAGNI, A. et al. Uso de iodo como indutor de tolerância em mudas de tomate sob estresse de salinidade. **Revista Científica Universidad Autónoma de Coahuila**, v. 13, p. 14-22, 2021. GUPTA, N. et al. Response of iodine on antioxidant levels of Glycine max L. grown under Cd stress. **Advances in Biological Research**, v. 9, p. 40-48, 2015.
- GUPTA, N. et al. Role of iodine in plant stress tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 73-82, 2015.
- HADAVI, E.; GARCÍA-MINA, J. M. Foliar nutrition: benefits and requirements. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, p. 1234–1248, 2023.
- HENDRIKS, J. H. et al. ADP-glucose pyrophosphorylase is activated by posttranslational redox modification in response to light and to sugars in leaves of Arabidopsis and other plant species. **Plant Physiology**, v. 133, n. 2, p. 838-849, 2003.
- HERNÁNDEZ, J. A. et al. Effects of drought stress on growth and oxidative stress in plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 197-203, 2004.
- HOHENAUER, E. et al. Iodine as a potential beneficial element for plants: physiological and biochemical responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.
- HONG, Chunlai et al. Evaluation of iodide and iodate for adsorption–desorption characteristics and bioavailability in three types of soil. **Biological Trace Element Research**, v. 146, n. 2, p. 262–271, 2012. DOI: 10.1007/s12011-011-9231-6.
- HOPKINS, W. G.; HÜNER, P. A. N. **Plant physiology**. [S. l.]: [Editora não especificada], 2009. v. 4, p. 26-33, 230.
- INCROCCI, L. et al. Acúmulo e tolerância ao iodo em manjeriço-doce (*Ocimum basilicum* L.) com folhas verdes ou roxas cultivado em sistema flutuante. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1494, 2019. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. IRFAN, M. et al. Molecular and physiological mechanisms of plant drought tolerance. **Plant Stress Physiology**, v. 1, n. 1, p. 112-125, 2023.
- ITURBE-ORMAETXE, I. et al. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. **Plant Physiology**, v. 116, n. 1, p. 173-181, 1998.
- JACINTO JÚNIOR, S. G. et al. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.
- JALEEL, C. A. et al. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009. JHA, P. K.; KUMARB, S. N.; INESA, A. V. M. Responses of soybean to water stress and supplemental irrigation in upper Indo-Gangetic plain: Field experiment and modeling approach. **Journal Elsevier**, v. 219, p. 76-86, 2018.
- KIFERLE, C. et al. A biofortificação com iodo afeta o metabolismo oxidativo em plantas de

alface? **Biological Trace Element Research**, v. 142, p. 831-842, 2011.

KIFERLE, C. et al. Evidences for a nutritional role of iodine in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of Glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.

KURIHARA, C. H. et al. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 690-698, 2013.

LENG, G.; HALL, J. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. **Science of the Total Environment**, v. 654, p. 811-821, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.434.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 4-3, 2001.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 20 p. (Documentos, 53).

LIMA, J. S. et al. Soybean plants exposed to low concentrations of potassium iodate show increased drought tolerance via enhanced antioxidant enzyme activity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n. 10, p. 2023–2034, 2023.

LIMA, Jucelino de Sousa et al. KI increases tomato fruit quality and water deficit tolerance by improving antioxidant enzyme activity and amino acid accumulation: a priming effect or relief during stress? **Plants**, v. 12, n. 23, art. 4023, 2023. DOI: 10.3390/plants12234023.

LIMA, Jucelino de Sousa. Iodine application as a strategy for mitigating water deficit stress in plants. 2023. 78 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023. LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSEN, M. N. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. **Journal Elsevier**, v. 86, p. 1-13, 2004.

LIU, Z. et al. Coordinated regulation of arbuscular mycorrhizal fungi and soybean MAPK pathway genes improved mycorrhizal soybean drought tolerance. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 28, n. 4, p. 408-419, 2015.

LÓPEZ-HIDALGO, C. et al. The rainbow protocol: a sequential method for quantifying pigments, sugars, free amino acids, phenolics, flavonoids and MDA from a small amount of sample. **Plant Cell Environment**, v. 44, n. 1, p. 1977–1986, 2021.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006.

MA, Y. et al. Potassium iodate application enhances coffee plant tolerance to water deficit by inducing photosynthesis adjustments and modulating sugar metabolism. **Physiologia Plantarum**, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ppl.14096>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

MA, Y. et al. Roles of N, P, and K fertilization on drought resilience in cereals. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, 2020.

MACHADO JÚNIOR, C. S. **Déficit hídrico em tipos de crescimento da soja**. 2015. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, [Local não

especificado], 2015. MAHMOOD, T. et al. Iodine-induced modifications in maize seedlings under salinity stress: insights into physiological, antioxidant defense system, and chlorophyll fluorescence characteristics. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 849-861, 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MANI, F. et al. Endogenous free polyamines changes induced by exogenous iodine in relation to salinity stress in maize plants. **Journal of Agricultural Science**, v. 152, p. 1054-1065, 2014.

MARIANNO, F. H. F. **Desempenho produtivo da soja submetida a aplicação de fitorreguladores na fase reprodutiva e a dois regimes hídricos no enchimento de grãos**. 2016. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – [Instituição não especificada], [Local não especificado], 2016.

MERCOPRESS. Brazil declares a record harvest of soy beans, 156 million tons in 2023. **MercoPress**, [S. l.], 29 jun. 2023. Disponível em: <<https://en.mercopress.com/2023/06/29/brazil-declares-a-record-harvest-of-soy-beans-156-million-tons-in-2023>>. Acesso em: 3 jul. 2024.

MERINO, L.; ZHANG, Z.; TORREGROSA, J. Beneficial elements in plant stress responses. **Plant Science Today**, v. 5, p. 45-60, 2018.

MILMAN, V. M. **Desempenho da cultura da soja (Glycine max) em resposta a diferentes densidades de sementeira e geometrias espaciais**. 2020. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Universidade do Porto, [Local não especificado], 2020.

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

MORANDO, R. et al. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p. 114-129, 2014.

MOURA, A. R. et al. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

MILLA, R. et al. Relationships between phenology and the remobilization of nitrogen, phosphorus and potassium in branches of eight Mediterranean evergreens. **New Phytologist**, v. 168, n. 1, p. 167-178, 2005. MAIA, Mayana Pereira. Role of iodine in attenuating water stress and tomato fruit quality. 2025. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2025. NARDI, S.; PUSCHENREITER, M. Silicon-based abiotic stress tolerance in plants: a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 55, p. 50-60, 2009.

NÓBREGA, J. C. A. et al. Economic damage to soybean due to decreased iodine supply during the vegetative stage: understanding mechanisms of yield losses. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 391, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/plants12020391>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

ORTEGA-RAMIREZ, Angie Tatiana et al. Biostimulant effects of iodine on the biomass, biomolecules, and nutritional profile of lettuce seedlings. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2025. DOI: 10.1007/s42729-025-02296-0.

PEREIRA, A. A. et al. Expressão de genes da subfamília HD-Zip I em soja submetida à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 884-889, 2011.

PÉREZ, M. J. et al. Potassium iodide enhances antioxidant enzyme activities in lettuce under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v. 286, p. 85-94, 2021.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010. PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from

available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869–882, 2011. PINHEIRO, C. et al. Physiological responses of soybean plants to potassium iodate and water deficit: role of antioxidant enzymes and photosynthetic efficiency. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jac.13024>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

PORTAL MAIS AGRO. Produtividade da soja recua 7,9% em 2023/24 no Brasil. **Portal Mais Agro**, [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://www.portalmaisagro.com.br/2024/02/produtividade-soja-recua>>. Acesso em: 3 jul. 2024.

QI, X. et al. ROS signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and water-use efficiency. **Molecular Plant**, v. 11, n. 2, p. 173-185, 2018.

RAHBARIAN, R. et al. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica**, v. 53, n. 1, p. 47-56, 2011.

RANIERI, A.; SERINO, M.; CAPARROTTA, F. Foliar application of potassium iodide to apple trees: effects on plant growth, fruit quality, and iodine accumulation. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 96, n. 2, p. 257-265, 2021.

RASHEED, Adnan et al. Key insights to develop drought-resilient soybean: a review. **Journal of King Saud University – Science**, v. 34, n. 5, art. 102089, 2022. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102089. RODRIGUES, J. D. et al. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3763- 3770, 2016.

ROHÁČEK, K. et al. Screening of chlorophyll fluorescence parameters for identification of cold tolerance in spring barley (*Hordeum Vulgare* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, p. 74-83, 2013. ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: Ufla/Faepe, 2002. SAIRAM, R. K.; SRIVASTAVA, G. C. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. **Plant Science**, v. 162, p. 897-904, 2002.

SAIRAM, R. K.; RAO, K. V.; SRIVASTAVA, G. C. Differential response of wheat genotypes to long term salt stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**, v. 163, p. 1037-1046, 2002.

SANTOS, M. K. S. **Avaliação da qualidade de sementes de soja produzidas no oeste baiano: empresa ciaseeds**. 2019. 60 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, [Local não especificado], 2019.

SCHREIBER, U.; SCHLIWA, U.; BILGER, W. Continuous recording of photochemical and non photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. **Photosynthesis Research**, v. 10, p. 51-62, 1986.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: **Tecnologias de produção e usos da soja**. [S. l.]: [Editora não especificada], 2009. p. 1-5.

SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL – SIB. **Relatório anual**: impactos do déficit hídrico

na agricultura. [S. l.], 2024.

SEHGAL, Akanksha et al. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, art. 1705, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.01705

SHABALA, S. et al. Revisiting the role of plant ionic relations in drought tolerance: a case study of barley. **Plant Cell & Environment**, v. 40, n. 5, p. 881-892, 2017.

SILVA, A. R. A. et al. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 317-325, 2017. SILVA, D. F.; ALCÂNTARA, C. R. Déficit hídrico na região Nordeste: variabilidade espaçotemporal. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 8, n. 1, p. 45-51, 2009. SILVA, E. N. et al. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 1157-1164, 2010.

SILVA, F. C. S. **Influência do tamanho de sementes e de características agrônômicas em descritores adicionais de soja**. 2013. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015. SILVA, J. S. **Estresse hídrico em variedades tradicionais de feijão-caupi: estratégias fisiológicas e bioquímicas para tolerância ao déficit hídrico**. 2019. 61 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Biblioteca Universitária, [Local não especificado], 2019. SIMKIN, A. J.; LOPEZ-CALCAGNO, A.; RAINES, C. A. Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1119-1140, 2019.

SINGH, H. P. et al. Arsenic-induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation. **Plant Growth Regulation**, v. 53, p. 65-73, 2007.

SMOLEY, S. Advances in foliar fertilization technology. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, p. 12-20, 2012.

SOARES, A. R. O. et al. Iodine mitigates water deficit-induced damage by improving photosynthesis and antioxidant defense system in Arabica coffee plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 1-11, 2020.

SOUSA, S. J. C. et al. Clorofila A e B, Clorofila total e sua relação com área foliar total em mudas de Cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, [Local não especificado]. *Anais...* [S. l.]: [Organização/Editora não especificada], 2015. 4 p.

SOUZA, R. O. et al. Oxidative stress, antioxidant system and photosynthetic efficiency modulation in coffee plants exposed to water deficit and iodine. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 2024.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jac.13022>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

SOUZA, R. O. et al. Responses of soybean plants to iodine as influenced by water deficit: antioxidant enzymes, photosynthesis, and yield performance. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 30, p. 100-112, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12298-024-01354-1>>. Acesso em: 2 jun. 2026. STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, 2013.

STEIN, O.; GRANOT, D. An overview of sucrose synthases in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 95, p. 1-14, 2019.

STEPIEN, P.; KLOBUS, G. Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. **Physiologia Plantarum**, v. 125, p. 31-40, 2005.

SUN, M. et al. Thin plate spline regression model used at early stages of soybean breeding to control field spatial variation. **Journal of Crop Improvement**, v. 29, n. 3, p. 333-352, 2015.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. TAKAHASHI, S.; MURATA, N. How do environmental stresses accelerate photoinhibition? **Trends in Plant Science**, v. 13, n. 4, p. 178-182, 2008.

TANAKA, R. et al. The chlorophyll-protein complex CP43 stabilizes the binding of chlorophyll a and chlorophyll b to the light-harvesting complex II. **Journal of Biological Chemistry**, v. 282, p. 6285-6295, 2007.

TAVARES, L. C. et al. Rendimento e qualidade de sementes de soja de alto e baixo vigor submetidas ao déficit hídrico. **Revista de ciencia y tecnología de América**, v. 38, n. 1, p. 73-80, 2013. TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019. TOLBERT, N. E. Microbodies: peroxisomes and glyoxysomes. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 22, p. 45-74, 1971.

TOMBESI, S. et al. Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought stressed grapevine. *Scientific Reports*, v. 5, 12449, 2015.

TORREGROSA, J. et al. Application of beneficial elements to improve plant resistance to abiotic stress. **Plant Nutrition Reviews**, v. 2, p. 77-95, 2021.

VENEZIANO, V. M. **Adubação foliar é essencial para o incremento da produtividade na cultura da soja?** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) – IF Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2018.

VERMA, S. K. et al. Effect of potassium iodide on morphological, physiological, and biochemical characteristics of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salinity stress. **Plant Growth Regulation**, v. 95, p. 151-160, 2021.

VERMA, S. K.; PANDEY, M.; KUMAR, A. Influence of iodine application on growth and photosynthetic characteristics of spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v.

267, p. 109323, 2020.

VIÇOSI, K. A. et al. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, p. 36-42, 2017.

VIEIRA, F. C. F. et al. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 543-552, 2013. WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. **Annals of Botany**, v. 106, p. 1-23, 2009.

WU, F. et al. Assessing sustainability of soybean supply in China: evidence from provincial production and trade data. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 1-14, 2020.

XU, Q. et al. Assessing climate change impacts on crop yields and exploring adaptation strategies in Northeast China. **Earth's Future**, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2023EF004063>>. Acesso em: 2 jun. 2026.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.  
YOKOYAMA, A. H. et al. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 953-962, 2018. YOSHIDA, S. et al. **Laboratory manual for physiological studies of rice**. Tóquio: International Rice Research Institute, 1976.

YU, X. et al. A comparative proteomic study of drought-tolerant and drought-sensitive soybean seedlings under drought stress. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 5, p. 528-540, 2016.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R. Plant responses to climate change: learning from extreme environments. **Plant Physiology**, v. 185, n. 1, p. 20-31, 2021.

ZELITCH, I.; OCHOA, S. Oxidation and reduction of glycolic and glyoxylic acid in plants. I. Glycolic acid oxidase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 201, p. 707-718, 1953.

ZEHMANN, S. Mechanisms of stress tolerance in plants: understanding plant responses to abiotic stress. **Plant Journal**, v. 98, n. 2, p. 181-195, 2021.

ZHAO, C. et al. Multimethod estimates of global crop yield changes in response to temperature increase. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1701762114.

ZHANG, J. et al. Antioxidant enzyme activities in the leaves of *Solanum melongena* grafted seedlings under low temperature stress. **Agricultural Biotechnology**, v. 5, p. 1-5, 2005.

ZHOU, J. et al. Estimation of the maturity date of soybean breeding lines using UAV-Based Multispectral Imagery. **Remote Sens**, v. 11, n. 18, p. 2075, 2019.