

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE PRODUÇÃO VEGETAL

ANDRÉ LUCAS JANUÁRIO SILVA

**24-EPIBRASSINOLÍDEO ATENUA O ESTRESSE HÍDRICO NA FASE DE
CRESCIMENTO VEGETATIVO E MELHORA O RENDIMENTO DE
PLANTAS DE SOJA**

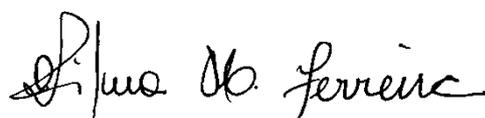
Rio Largo - Alagoas

2021

ANDRÉ LUCAS JANUÁRIO SILVA

**24-EPIBRASSINOLÍDEO ATENUA O ESTRESSE HÍDRICO NA FASE DE
CRESCIMENTO VEGETATIVO E MELHORA O RENDIMENTO DE
PLANTAS DE SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.



Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira
Orientador (a)

Rio Largo - Alagoas

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

S586e Silva, André Lucas Januário.

24-Epibrassinolídeo atenua o estresse hídrico na fase de crescimento vegetativo e melhora o rendimento de plantas de soja.
/ André Lucas Januário Silva. – 2021.
70 f.: il.

Orientadora: Vilma Marques Ferreira
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração: em Produção Vegetal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio largo, 2021.

Bibliografia: f. 59 – 70.
1. Glycine max. 2. Brassinosteróide. 3. déficit hídrico.
4. Soja.

CDU:633.34

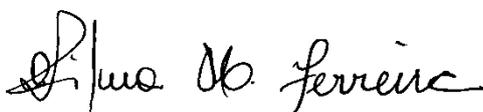
TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ LUCAS JANUÁRIO DA SILVA

(Matrícula 2019105539)

**“24-EPIBRASSINOLIDEO ATENUA O ESTRESSE HÍDRICO NA FASE DE
CRESCIMENTO VEGETATIVO E MELHORA O RENDIMENTO DE
PLANTAS DE SOJA”**

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e três de fevereiro de 2021, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia “Produção Vegetal” do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira
Presidente



Prof. Dr. Gilberto Costa Justino
Membro



Pesq. Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior
Membro

Aos meus pais, Adenilton Alves Silva e Tânia Gláucia Januário Silva; Ao meu irmão Altair Tayrone Januário Silva e à minha namorada Ranielly Rodrigues Moraes, que depositaram suas confianças em mim, e que estiveram ao meu lado nessa importante etapa da minha vida...

DEDICO

Agradecimentos

A Deus, Criador de todas as coisas, que sempre me concedeu saúde, paz, sabedoria e força de vontade para continuar a caminhada na luta pela realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Adenilton Alves Silva e Tânia Gláucia Januário Silva, pelo amor, carinho, atenção para comigo e incentivo nos meus estudos.

À minha namorada Ranielly Rodrigues, que tanto me apoiou e me ouviu, ao longo dessa jornada.

À minha Orientadora Professora Dra. Vilma Marques Ferreira, pela orientação, confiança e pelos ensinamentos, sobretudo na importante disciplina de Fisiologia Vegetal, que me deu base para a condução desse experimento.

À Dra. Claudiana Moura, que sempre me ajudou, desde o início da minha jornada no Laboratório de Fisiologia Vegetal, quando eu não tinha experiência alguma na área de pesquisa. Sempre disponível para me ajudar e tirar minhas dúvidas.

Ao técnico Paulo Barcellos, por toda paciência e por estar sempre presente nas análises e nos experimentos do laboratório de Fisiologia Vegetal. Também sempre esteve disponível para tirar minhas dúvidas.

Aos meus amigos do laboratório de Fisiologia Vegetal e áreas afins: Jônatas Vieira, Juliany Moura, Jhulyanne Christiny, Isabella Cardoso, Ricardo Barros, Lennon Kledson, Cristian Bernardo, Marcos, José Neto, Nathally, João Raphael e Dorothy. Sem vocês eu não conseguiria concluir esta etapa da minha vida. Obrigado pelo companheirismo, dedicação e disposição para me ajudar nos momentos mais difíceis. Agradeço a Deus por todas as experiências que tive ao lado de vocês!

A todos os professores do CECA que colaboraram para minha formação, exercendo o papel de verdadeiros mestres.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo, fundamental para realização do trabalho.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para realização dessa etapa da minha vida.

RESUMO

A soja é uma cultura de grande importância econômica mundial, utilizada na alimentação humana e animal, e também para a produção de biocombustível. O déficit hídrico é o principal fator limitante para a produtividade dessa cultura no mundo. Alternativas para minimizar os impactos do déficit hídrico em plantas envolvem a aplicação de biorreguladores vegetais, dentre os quais, destacam-se os Brassinosteróides. Em razão disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do biorregulador 24-epibrassinólídeo em plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), submetidas a estresse por déficit hídrico visando contribuir para com o aumento no rendimento da cultura da soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no esquema fatorial 2x2, com 8 repetições. Os tratamentos consistiram em aplicação ou não do regulador na concentração de 0,1 mg/L, bem como presença ou ausência de estresse hídrico. As sementes de soja da cv. IMA 84114 RR foram semeadas e após doze dias foi realizada a primeira aplicação foliar do biorregulador repetida mais três vezes em intervalos de cinco dias. O experimento foi realizado na fase vegetativa, e a supressão hídrica foi imposta ao vigésimo sétimo dia após a semeadura (DAS). O período máximo de deficiência hídrica foi determinado pelo murchamento das plantas de soja, seguidos por três dias de reidratação. Os dados dos parâmetros avaliados no experimento foram submetidos às análises de variâncias a 0,1, 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, e, quando observada diferença estatística significativa, utilizou-se o Teste de Tukey para a comparação das médias. No estresse hídrico severo, aos 32 DAS, as plantas do tratamento “Déficit hídrico – 24EpiBL” apresentaram taxas fotossintéticas inferiores a $0,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto que as do tratamento “Déficit hídrico + 24EpiBL” apresentaram valores próximos a $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A aplicação do 24EpiBL em plantas submetidas a déficit hídrico conferiu melhor desempenho na eficiência instantânea (A/E) bem como na eficiência intrínseca do uso da água (A/gs). Os menores potenciais hídricos foliares registrados às 4h00 e às 12h00 foram os de plantas de soja do tratamento “DH – 24EpiBL”. Por outro lado, a eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) ao meio dia foi maior em plantas do tratamento “DH + 24EpiBL” durante todo o período de avaliação. Além disso, as plantas de soja que receberam a aplicação desse biorregulador apresentaram maiores alturas, áreas foliares, pesos e tamanhos de grãos, bem como maiores produções de matéria seca. Dessa maneira, a aplicação foliar do 24-EpiBL na fase vegetativa alivia os efeitos prejudiciais do déficit hídrico nas trocas gasosas, melhora o status hídrico da planta, bem como auxilia na manutenção dos pigmentos fotossintéticos, reduzindo os danos causados pelo déficit hídrico ao aparelho fotossintético. Além disso, após a reidratação das plantas, o 24-EpiBL melhora o crescimento, o desenvolvimento e consequentemente a produtividade da cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*, brassinosteróide, déficit hídrico.

ABSTRACT

Soybean is a crop of great economic importance worldwide, used for human and animal food, and also for the production of biofuel. Water deficit is the main limiting factor for the productivity of this crop worldwide. Alternatives to minimize the impacts of water deficit in plants involve the application of plant bioregulators, among which, the Brassinosteroids stand out. Because of this, the objective of this work was to evaluate the efficiency of the bioregulator 24-epibrassinolide in soybean plants (*Glycine max* (L.) Merrill), submitted to water deficit stress, with the aim of contributing to the increase in soybean yield. The experiment was conducted in a 2x2 factorial design, with 8 repetitions. The treatments consisted of applying or not the regulator at a concentration of 0.1 mg/L, as well as the presence or absence of water stress. The soybean seeds of the cv. IMA 84114 RR were sown and after twelve days of the first foliar application of the bioregulator was made, which was repeated three more times at intervals of five days. The experiment was conducted in the vegetative phase, and water suppression was imposed on the twenty-seventh day after sowing (DAS). The maximum period of water deficiency was determined by the wilting of soybean plants, followed by three days of rehydration. The data of the parameters evaluated in the experiment were submitted to variance analysis at 0.1, 1 and 5% probability using the F test, and, when statistically significant differences were observed, the Tukey test was used to compare means. In severe water stress, at 32 DAS, the plants in the "Water deficit - 24EpiBL" treatment showed photosynthetic rates below $0.80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, while those in the "Water deficit + 24EpiBL" treatment showed values close to $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The application of 24EpiBL in plants subjected to water deficit conferred better performance in instantaneous efficiency (A/E) as well as in intrinsic water use efficiency (A/g_s). The lowest leaf water potentials recorded at 4 am and 12 noon were those of soybean plants from the "DH - 24EpiBL" treatment. On the other hand, the potential photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m) at noon was higher in plants from the "DH + 24EpiBL" treatment throughout the evaluation period. In addition, soybean plants that received the application of this bioregulator showed greater heights, leaf areas, weights and grain sizes, as well as higher dry matter yields. Thus, the foliar application of 24-EpiBL in the vegetative phase alleviates the harmful effects of water deficit on gas exchange, improves the hydric status of the plant, as well as assists in the maintenance of photosynthetic pigments, reducing the damage caused by water deficit to the photosynthetic apparatus. Furthermore, after rehydration of the plants, 24-EpiBL improves the growth, development and consequently the productivity of the soybean crop.

Keywords: *Glycine max*, brassinosteroid, water stress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Médias diárias de temperatura do ar (A), radiação diária (B) umidade relativa do ar (C) e déficit de pressão de vapor (DPV) (D) na casa de vegetação durante o experimento..... 25
- Figura 2 - Média da umidade do solo (%) em cada tratamento do experimento em função dos dias após a semeadura (DAS)..... 30
- Figura 3 - Curva de resposta à luz em plantas de soja: Assimilação de CO₂ em função da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)..... 31
- Figura 4 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a taxa fotossintética (A), transpiração (B), condutância estomática (C), concentração interna de CO₂ (D), temperatura foliar (E), déficit de pressão de vapor (F), eficiência instantânea (G) e eficiência intrínseca do uso da água (H) de plantas de soja..... 34
- Figura 5 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação brassinosteróide x regime hídrico para o conteúdo relativo de água em plantas de soja no período de estresse hídrico (28 e 32 DAS).....38
- Figura 6 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes ao fator brassinosteróide para o potencial hídrico foliar às 12h00 (Ψ_w) de plantas de soja no período de Estresse Hídrico (28 DAS).....39
- Figura 7 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação brassinosteróide x regime hídrico para os potenciais hídricos foliares (Ψ_w 4h00 e 12h00) em plantas de soja no período de estresse severo (32 DAS).....39
- Figura 8 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes ao fator regime hídrico (RH) para o potencial hídrico foliar às 12h00 (Ψ_w 12h00) de plantas de soja no período de reidratação (35 DAS).....40
- Figura 9 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre as clorofilas *a* e *b*, clorofilas totais e carotenóides de plantas de soja em diferentes períodos de restrições hídricas.....41
- Figura 10 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em plantas de soja.....42

Figura 11 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à Fv/Fm (antemanhã) dos fatores regime hídrico (Estresse Severo) e brassinosteróide (Reidratação) de plantas de soja.....	44
Figura 12 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a eficiência quântica efetiva do fotossistema II (ΦPSII) de plantas de soja.....	44
Figura 13 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a altura (A), diâmetro do caule (B), área foliar (C) e índice de área foliar (D) de plantas de soja.....	45
Figura 14 - Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre o número de folhas por plantas de soja.....	47
Figura 15 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-epibrassinolídeo x regime hídrico (RH) do número de vagens por planta (A), número de grãos abortados (B), peso de mil grãos (C) e números de grãos produzidos por plantas de soja.....	48
Figura 16 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-epibrassinolídeo x regime hídrico (RH) do tamanho (A) e o diâmetro (B) dos grãos de soja.....	49
Figura 17 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à matéria seca da folha dos fatores isolados brassinosteróide e regime hídrico das plantas de soja.....	50
Figura 18 - Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-epibrassinolídeo x regime hídrico (RH) da matéria seca do caule (A), da raiz (B) e a matéria seca total (C) das plantas de soja.....	50

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1- Caracterização física do solo na camada de 0-20 cm. Rio Largo-AL, 2019.....	27
Tabela 2- Caracterização química do solo na camada de 0-20 cm. Rio Largo-AL, 2019.....	27
Quadro 1- Regime hídrico das plantas de soja durante as aplicações do 24-Epibrassinolídeo antes da suspensão total da irrigação.....	30
Tabela 3- Resumo da Análise de variância referente ao Conteúdo Relativo de Água (CRA%) de plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-Epibrassinolídeo.....	37
Tabela 4- Resumo da Análise de variância referente ao potencial hídrico foliar (Ψ_w) de plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-epibrassinolídeo.....	38
Tabela 5- Resumo da Análise de variância referente à máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m antemanhã) de plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-epibrassinolídeo.....	43
Tabela 6- Resumo da Análise de variância dos componentes de produção da soja.....	47
Tabela 7- Resumo da Análise de variância da biomassa das plantas de soja.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

24-EpiBL – 24-Epibrassinolídeo
A - Fotossíntese
A/E – Eficiência instatânea do uso da água
A/*gs* – Eficiência intrínseca do uso da água
ANAVA – Análise de Variância
BR – Brassinosteróides
CO₂– Gás carbônico
CRA – Conteúdo Relativo de Água
DAS – Dias após a semeadura
DH – Déficit Hídrico
DNA – Ácido desoxirribonucléico
DPV – Déficit de Pressão de Vapor
E – Transpiração
EBR – 24-Epibrassinolídeo
EROS – Espécies Reativas de Oxigênio
F_v/F_m–Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II
gs – Condutância estomática
IAF – Índice de Área Foliar
IRGA- *Infra Red Gas Analyzer*
Mf – Matéria fresca
Ms – Matéria Seca
Mt – Matéria túrgida
PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa
Rubisco – Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase
SOD – Supéroxido-dismutase
Ψ_W – Potencial Hídrico
ΦPSII - Eficiência quântica efetiva do fotossistema II

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. Soja: descrição botânica	16
3.2. Importância econômica da soja	17
3.3. Fenologia da soja.....	18
3.4. Caracterização fisiológica de plantas de soja sob déficit hídrico	19
3.5. O déficit hídrico na cultura da soja.....	21
3.6. Fitormônio: Brassinosteróide	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Caracterização do ambiente experimental.....	25
4.2. Delineamento experimental	25
4.3. Instalação e condução do experimento.....	26
4.4. Preparo e aplicação do análogo de Brassinosteróide (BR)	28
4.5. Imposição dos Regimes hídricos	28
4.6. Avaliações fisiológicas	30
4.7. Avaliações morfológicas.....	32
4.8. Avaliações dos componentes de produção.....	33
4.9. Análises estatísticas	33
5. RESULTADOS.....	34
5.1. Atributos fisiológicos da soja	34
5.2. Conteúdo Relativo de Água (CRA %) e Potencial hídrico foliar (Ψ_w)....	37
5.3. Produção de pigmentos fotossintéticos e a fluorescência das clorofilas	41
5.4. Atributos morfológicos da soja.....	45
5.5. Componentes de produção da soja.....	47
6. DISCUSSÃO.....	52
7. CONCLUSÕES	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância econômica mundial. Esse destaque da soja se deve à múltipla utilização de seus grãos na agroindústria para fabricação de produtos alimentícios humano e animal, como o óleo vegetal e farelo, fonte de proteína em rações animais (KOHLHEPP, 2010; BOEREMA et al., 2016). Além disso, a soja tem sido utilizada na indústria química e, recentemente, vem crescendo também o seu uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO, 2000, FREITAS, 2011). Entretanto, a cultura é considerada sensível às condições de deficiência hídrica (MORANDO et al. 2014; GALÃO et al. 2014; PARDO et al. 2015).

A seca é um dos fatores ambientais que mais limitam a produção de alimentos no mundo, pois o déficit hídrico impacta diretamente nas trocas gasosas foliares e na fotossíntese, o que causa redução no crescimento das plantas e na produtividade de grãos (CENTRITTO et al., 2009). A redução no crescimento ocorre devido à perda de pressão de turgor das células, o que inibe os processos como alongamento, divisão e diferenciação celular (JALEEL et al., 2008; FAROOQ et al., 2009).

Sob condições de deficiência hídrica e alta luminosidade as plantas sofrem distúrbios em função do excesso de elétrons nos sistemas de transporte dos tilacóides e dos fotossistemas, o que causa sobre-excitação dos centros de reação dos fotossistemas II e I, elevando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nos cloroplastos (CARVALHO, 2008).

Vários hormônios estão envolvidos na modulação da resposta das plantas ao estresse, com destaque para os brassinosteróides (BRs). Alguns compostos desse grupo hormonal atuam como indutores de resistência e promovem, inibem ou modificam os processos fisiológicos das plantas submetidas à deficiência hídrica (SHARMA et al., 2007; GONÇALVES, 2015; SILVA, 2017).

Os BRs são um tipo de fitormônio com influência significativa na promoção do crescimento e estão associados a vários processos fisiológicos, dentre eles a melhora da resposta a diversos estresses abióticos, devido ao fato de estar envolvido na ativação dos mecanismos de proteção contra estresses oxidativos e na alteração estrutural e permeabilidade das membranas celulares. São eficientes em incrementar a resistência, principalmente a altas temperaturas, seca e salinidade (VARDHINI, 2012).

Sendo assim, os BRs surgem como uma importante oportunidade para o aumento no rendimento das culturas por meio de modificações no metabolismo e proteção das plantas aos estresses abióticos, como o déficit hídrico (KRISHNA, 2003; BAJGUZ, 2013).

Dentre os brassinostéóides mais utilizados em estudos científicos, destacam-se os 24-epibrassinolídeos, pois estes apresentaram maiores resultados positivos tanto sobre a germinação e desenvolvimento vegetal, como na amenização dos estresses bióticos e abióticos (SAINI et al., 2015).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos do biorregulador 24-epibrassinolideo na morfofisiologia e nos componentes de produção de plantas de soja (*Glycine max* (L.)) submetidas a estresse hídrico na fase vegetativa.

2.2. Objetivos específicos

- Verificar os possíveis danos ocasionados pelo déficit hídrico em plantas de soja (*Glycine max* (L.)) por meio dos parâmetros morfofisiológicos avaliados.
- Constatar como o Brassinosteróide contribui acerca dos parâmetros morfofisiológicos e bioquímicos das plantas de soja (*Glycine max* (L.)) submetidas a déficit hídrico.
- Verificar se o BR aplicado no estágio vegetativo influencia na produtividade da cultura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Soja: descrição botânica

A soja é uma planta que pertence ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae* (*Leguminosae*), subfamília *Faboideae* (*Papilionoideae*), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009). É uma leguminosa proveniente da região chinesa de Manchúria, sendo uma das culturas mais antigas do mundo e plantadas há mais de cinco mil anos. Seu cultivo espalhou-se pelo mundo através de viajantes europeus e imigrantes asiáticos (MISSÃO, 2006).

A soja é uma planta anual, herbácea, ereta, autógama, com variabilidade para as características morfológicas, que ainda podem ser influenciadas pelo ambiente, como a altura que pode variar de 30 a 200 cm, tendo mais ou menos ramificações. Quanto ao ciclo, que pode levar de 75 para as mais precoces e 200 dias para as mais tardias (SEDIYAMA, 2009).

Seu sistema radicular é constituído por uma raiz principal pivotante, com ramificações distribuídas em quatro ordens (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA, 2009). Nelas se encontram os nódulos, resultantes da simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que fixam o nitrogênio do ar presente no solo, repassando para planta na forma de nitrato em troca de carboidratos, reduzindo os gastos com adubação nitrogenada (MASCARENHAS et al., 2005).

O seu caule é ramificado, desenvolvendo-se a partir do eixo embrionário. O desenvolvimento é dependente do tipo de crescimento, sendo que na maioria das cultivares o crescimento é ortótropo, podendo sofrer influência das condições externas (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA, 2009).

Para cultivares de crescimento determinado e semideterminado, a gema terminal transforma-se em uma inflorescência terminal. Já no crescimento indeterminado o caule continua a crescer após o florescimento. Geralmente plantas cultivadas em baixa luminosidade e fotoperíodos longos tornam as cultivares volúveis, com caule delgado e podendo atingir mais de 3 m de comprimento (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA, 2009).

A planta de soja possui um par de folhas simples, as quais estão inseridas opostamente no primeiro nó, acima do nó cotiledonar; possuem pecíolos longos, porém o seu comprimento varia em função do tipo de folha, posição da folha, da cultivar e das condições de luminosidade. As demais folhas são compostas, trifolioladas, cujas

dimensões foliares dependem do vigor da planta e das condições ambientais (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA et al., 1996; SEDIYAMA, 2009).

As flores são completas e axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por racemo, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a cultivar. Os frutos, do tipo vagem, são achatados, curtos, de 2 a 7 cm de comprimento, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta e pode chegar a 400 por planta, com número de grãos variando de 1 a 5 por vagem, mas a maioria das cultivares possuem 2 a 3 sementes (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA et al., 1996; MASCARENHAS et al., 2005; SEDIYAMA, 2009).

As sementes são geralmente elípticas e achatadas, completamente lisas e ligeiramente brilhantes, diferindo quanto à intensidade de seu brilho em razão da presença de ceras na superfície da cutícula. Todavia, existem cultivares que possuem sementes foscas, de cor amarela, verde ou preta. O hilo pode apresentar variação na cor de marrom, amarela, marromclara, preta imperfeita e preta, no entanto podem ocorrer variações nas tonalidades, em razão da origem genética e das condições de cultivo (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA et al., 1996).

3.2. Importância econômica da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é atualmente a leguminosa mais produzida e consumida no mundo (THILAKARATHNA & RAIZADA, 2017) com 337,298 milhões de toneladas produzidas na safra de 2019/2020 (EMBRAPA, 2020). Seus grãos apresentam uma média de 38% de proteína em sua composição, sendo, portanto, uma oleaginosa rica em proteína (BAMJI & CORBITT, 2017) e importante para alimentação humana e animal, sendo também utilizada como fonte de energia através do biocombustível (ABDULKHANI et al., 2017).

Devido a essa abrangência de utilidades, existe um constante aumento da demanda ocasionado pelo crescimento populacional mundial, aumentando a demanda para produção de alimentos e consumo dos produtos derivados da soja, e também, a busca por novas fontes energéticas como na produção de óleos e biocombustíveis. Isso fez com que a soja se tornasse uma das principais *commodities* mundiais (RIGO et al., 2015).

O óleo de soja tem quantidades elevadas de ácidos graxos poli-insaturados, tendo assim seu uso direcionado para produção de óleo de salada e de cozinha, além da fabricação de maionese e margarinas (MISSÃO, 2006). O óleo de soja também

apresenta finalidades industriais voltadas para a fabricação de tintas em geral, cosméticos, detergentes e biodiesel (MISSÃO, 2006).

Devido ao seu alto teor de proteína, a soja contribui na alimentação humana e também na alimentação de grande parte dos animais, sendo primordial para a produção de carnes, leite e ovos, os quais podem oferecer uma grande variedade de produtos quando industrializados. A soja é relacionada com uma cadeia produtiva muito abrangente, onde os animais criados com rações produzidas de farelo de soja oferecem outros subprodutos que vão afiançar outras áreas da economia, como setores de couro, fertilizantes orgânicos dentre outros (ROESSING; SANCHES; MICHELLON, 2005).

Visando a minimização do uso de combustíveis fósseis para diminuir a emissão de gases do efeito estufa, a utilização de óleos de origem vegetal tem aumentado no Brasil e no mundo. Apresentando um menor custo com mão de obra, em comparação à outras culturas como o milho e o trigo que também são utilizadas na produção de óleo para biodiesel, a soja é mais eficiente pelo menor custo de produção, menor emissão de gases do efeito estufa, além de utilizar um menor volume de água na sua produção, sendo uma ótima fonte bioenergética (DAVIS et al., 2005).

No cenário mundial, o Brasil se tornou o maior produtor de soja no mundo ao ultrapassar os Estados Unidos nesta safra de 2019/2020, possuindo uma produção de 124,84 milhões de toneladas e uma área plantada de cerca de 37 milhões de hectares (EMBRAPA, 2020). Além disso, dentre os grandes produtores dessa cultura no mundo (Brasil, Estados Unidos e Argentina), o Brasil ainda é o país que possui o maior potencial de expansão em área cultivada, podendo, se depender das necessidades de consumo do mercado, mais do que duplicar a sua produção. Os Estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás são os maiores produtores de soja do Brasil (CONAB, 2020).

3.3. Fenologia da soja

A fenologia das plantas determina os estádios fenológicos, isto é, as transformações ocorridas a partir da germinação, brotação, florescimento até a maturação. Tal estudo permite a compreensão da relação das características morfofisiológicas das plantas com o meio ambiente, sendo crucial para o planejamento das épocas de colheita, manejo de pragas e doenças, bem como a irrigação e aplicação

de defensores agrícolas e fertilizantes (VENTURA et al., 2009; NOGUEIRA et al., 2013).

A metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro. O sistema proposto por Fehr e Caviness (1977) divide os estádios de desenvolvimento de soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são designados pela letra V e os reprodutivos pela letra R. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases de desenvolvimento da planta (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

A cultura atinge o estágio de desenvolvimento quando cerca de 50% das plantas alcança o determinado estágio (FEHR; CAVINESS, 1977). O estágio inicial compreende a emergência da plântula representada por (VE) – emergência, caracterizada pelo aparecimento dos cotilédones acima da superfície do solo, seguido dos demais estádios (VC) – cotilédones completamente abertos, (V1) – primeiro nó, folhas unifolioladas completamente desenvolvidas, (V2) segundo nó, primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, e assim sucessivamente até o surgimento da primeira flor (FEHR; CAVINESS, 1977).

Após o estágio vegetativo inicia-se o reprodutivo, designado (R1) início do florescimento, uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal), (R2) florescimento pleno, (R3) início da formação da vagem, (R4) vagens completamente desenvolvidas, (R5) início do enchimento do grão, (R6) grão cheio ou completo, (R7) início da maturação, (R8) maturação plena com 95% das vagens apresentando coloração madura (FEHR; CAVINESS, 1977).

O estágio reprodutivo é crucial ao desenvolvimento da cultura da soja, nesta etapa a sensibilidade ao estresse é bastante alta, em virtude do início da formação dos frutos (vagens), início do enchimento dos grãos e o pleno enchimento (DOGAN et al. 2007, HOSSAIN et al. 2014).

3.4. Caracterização fisiológica de plantas sob déficit hídrico

O déficit hídrico é um dos principais fatores que reduzem o crescimento das plantas, resultando em perdas na produção de alimentos em todo o mundo. Assim, a seca é vista como um limitante de produtividade, sendo relacionada como uma ameaça

mundial para segurança alimentar (MARINHO, 2016; ROWLAND; SMITH; TAYLOR, 2018).

De acordo com Hopkins & Huner (2009), o déficit hídrico afeta as características da membrana citoplasmática, da atividade fotossintética e do funcionamento dos estômatos. Manalavan et al. (2009) acrescentam que o DH também afeta a eficiência do uso da água (EUA), a assimilação de carbono (A) e o potencial hídrico no xilema (Ψ_W).

A atividade fotossintética é particularmente sensível ao déficit hídrico, visto que, a fim de conservar água no interior da planta, ocorre a redução do funcionamento estomático, o que afeta a assimilação do carbono atmosférico e sua consequente fixação pela enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), resultando na diminuição da fotossíntese e da produtividade (LAWLOR; TEZARA, 2009; GALMÉS et al., 2011; TAIZ et al., 2017; BARROS, 2018). A fotossíntese da soja é linearmente relacionada com a condutância estomática, sendo que quanto mais intenso é o DH, menor é a condutância estomática, fotossíntese e transpiração (MUNGER et al., 1987). O fechamento estomático reduz a perda de água pela planta, mas também aumenta a temperatura foliar o que pode levar ao estresse térmico, causando danos aos fotossistemas (TARDIEU, 2013).

O estresse por déficit hídrico também ocasiona redução das clorofilas, essenciais ao processo fotossintético, cuja função é a captação da energia luminosa através dos complexos coletores de luz para os centros de reações fotoquímicas. Sob condições de déficit hídrico a capacidade fotossintética é reduzida, e em consequência disso menores quantidades de energia luminosa são aproveitadas para a produção de energia química, ocorrendo, portanto, um aumento da suscetibilidade à fotoinibição, a qual é caracterizada por reduções no rendimento quântico do fotossistema II (MAXWELL; JOHNSON, 2000; SILVA et al., 2007; OUKARROUM et al., 2007; SALES et al., 2013; BARROS, 2018).

Quanto à eficiência do uso da água (EUA), ela é geralmente definida como a quantidade de biomassa acumulada por unidade de água usada (MANAVALAN et al., 2009). Contudo, Lambers et al. (2008) acrescentam uma definição em parâmetros fisiológicos onde a EUA é a razão entre o ganho de carbono fotossintético e a perda da água na transpiração (A/E). Também definem a razão de fotossíntese (A) e a condutância estomática (A/gs) como eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), sendo que suas variações são características de como os estômatos são controlados (COMSTOCK; EHLERINGER, 1992; MACHADO-JÚNIOR, 2015).

A EUA pode aumentar na fase vegetativa da soja quando a disponibilidade hídrica diminui (NEYSHABOURI; HATFIELD, 1986; LIU et al., 2005; YU et al., 2004), e também pode aumentar quando a concentração de CO₂ atmosférico for elevada (MADHU; HATFIELD, 2014). No entanto, a variação da EUA está mais relacionada com a variação da condutância estomática (EARL, 2002). O mesmo autor relatou em seu trabalho que genótipos de soja com alta EUA demonstraram manter baixos níveis de CO₂ intracelular resultante de uma redução da condutância estomática. Yu et al. (2004) afirmam que para que a cultura da soja seja capaz de manter um alto nível de assimilação de CO₂ ela precisa manter os estômatos abertos por mais tempo (MACHADO-JÚNIOR, 2015).

O potencial hídrico também é uma variável bastante sensível ao estresse por déficit hídrico. Em resposta à baixadisponibilidade hídricado solo, o potencial de água da folha também diminui, levando à perda da turgescência e ao fechamento estomático (MANSUR & BARBOSA 2000), o que pode resultar no baixo crescimento da planta, pois a água é necessária para o crescimento das células (SANTOS & CARLESSO, 1998), e também na redução da atividade fotossintética, pois é requerida na liberação de prótons e elétrons da etapa fotoquímica da fotossíntese, bem como na regulação da abertura estomática, possibilitando a absorção de dióxido de carbono e a mobilização de fotoassimilados (CHAVARRIA & SANTOS, 2012).

Diante das consequências geradas pela baixa disponibilidade hídrica, torna-se necessário a busca por tecnologias capazes de minimizar os efeitos desse estresse sobre as plantas. Sendo assim, o uso de bioestimulantes sintéticos, como o 24-epibrassinolídeo, surge como uma tecnologia com potencial para a atenuação dos danos causados pelo estresse hídrico em plantas.

3.5. O déficit hídrico na cultura da soja

O déficit hídrico influencia diretamente o crescimento e a produtividade das plantas, sendo um dos principais estressores abióticos (OZTURK et al. 2002). O cenário atual prevê um agravamento das mudanças climáticas, entre eles o aumento da frequência de longos períodos de estiagem (FAROOQ et al. 2014). O verão é o período de maior incidência de deficiência hídrica, o que afeta o plantio de grandes culturas como a soja (PEREIRA, 2017). Acredita-se que o aumento da incidência de seca afetará

diretamente a produção de leguminosas e por consequência, a economia de países que investem vastas áreas para cultivo destas espécies (VYAS 2014; PEREIRA, 2017).

Em geral, a seca acarreta a deficiência hídrica vegetal, que ocorre quando a taxa de absorção de água é excedida pela taxa de transpiração (TAVARES et al. 2013). Inúmeras características fisiológicas são alteradas em plantas sob déficit hídrico, incluindo a atividade fotossintética, o uso eficiente da água, o potencial hídrico foliar, propriedades estomáticas e a temperatura foliar (PEREIRA, 2017).

Além das alterações fisiológicas, o déficit hídrico na soja também reduz o desenvolvimento do caule, podendo causar o abortamento de flores e de vagens, mas a maior consequência é a redução do crescimento das folhas, o que leva a um menor índice de área foliar, resultando em perdas na biomassa e em menor número de vagens e de grãos por planta (JALEEL et al., 2009). A parte benéfica da redução de crescimento é a diminuição no ritmo de transpiração, levando à economia de água até o fim do ciclo da cultura (TARDIEU, 2013). A magnitude das alterações depende da duração e da intensidade do estresse, do material genético e do estágio de desenvolvimento da planta (FAROOQ et al. 2016).

A soja (*Glycine max* (L.) Merr. é um dos mais importantes grãos cultivados no mundo. Apesar do cultivo da soja em larga escala, concentrado em diferentes regiões, a cultura ainda é considerada sensível às condições de deficiência hídrica, fato que compromete o rendimento do grão, podendo as plantas tolerarem apenas pequenos períodos de seca (MORANDO et al. 2014; GALÃO et al. 2014).

A demanda hídrica da soja situa-se entre 450–700 mm de água durante a fase de crescimento, valores baixos podem comprometer o rendimento da cultura, em especial nos períodos mais críticos como a semeadura, emergência e enchimento dos grãos (PARDO et al. 2015).

Na fase vegetativa, o déficit hídrico pode promover uma assimetria na população de plantas, reduzindo a área foliar e o rendimento dos grãos. Ocorrendo escassez hídrica na fase reprodutiva, principalmente na fase de enchimento de grãos, devido a alterações fisiológicas e fechamento dos estômatos sofrido pela planta, terá como consequência o abortamento das vagens (FARIAS et al, 2007). Durante a produção e desenvolvimento das sementes, o déficit hídrico pode ocasionar a redução na duração das fases, bem como no número e tamanho das sementes, além de ocorrer alterações na sua composição química (ALBRECHT et al., 2008; KRISHNAN et al. 2014).

Mediante a isso, pesquisas têm sido intensificadas a fim de contribuir para com o aumento da produção de soja em locais de baixa disponibilidade hídrica, promovendo maior tolerância das plantas a estas condições, de modo a reduzir as perdas na produção e favorecendo o aumento no seu rendimento por meio de técnicas que utilizam fitormônios ou reguladores vegetais, como os brassinosteróides, os quais vêm ganhando grande destaque em razão dos resultados bastante significativos em pesquisas realizadas em plantas.

3.6. Fitormônio: Brassinosteróide

Os fitormônios são substâncias orgânicas, endógenas, podendo agir no local de síntese ou ser translocado, atuando em outras partes da planta, que produzidas em pequenas concentrações, promovem, inibem ou regulam qualitativamente o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (TAIZ et al., 2017).

O crescimento e desenvolvimento vegetal são regulados por vários fitormônios, que até então eram conhecidos apenas cinco tipos: auxinas (Axs), giberelinas (GAs), citocininas (CKs), etileno (Et) e ácido abscísico (ABA). Recentemente, novos estudos mostraram a existência de três novos hormônios: jasmonatos (JAs), brassinosteroides (BRs) e ácido salicílico (AS) (PELEG; BLUMWALD, 2011; TAIZ; ZIEGER, 2004; TAIZ et al., 2017). Dentre estes novos hormônios, os Brassinosteroides (BRs) vêm ganhando grande destaque devido a sua múltipla atuação na planta.

Os brassinosteróides são hormônios importantes para o controle do desenvolvimento de plantas (FUJIOKA et al., 2003; LONGATTI, 2012). O primeiro brassinosteróide foi isolado do pólen de *Brassica napus* (GROVE et al, 1979). Após essa data, foram identificados brassinosteróides em outros órgãos vegetais (SASSE, 1997; FUJIOKA et al., 2003). Os brassinosteróides têm sido descritos, em monocotiledôneas e dicotiledôneas, bem como em algas, briófitas, pteridófitas e gimnospermas (FUJIOKA et al, 1996; VARDHINI et al., 2006; BAJGUAZ, 2009; LONGATTI, 2012), ocorrendo em maior concentração em tecidos jovens que em tecidos adultos (MANDAVA, 1988; LONGATTI, 2012).

Estudos realizados com BR exógeno identificaram que mutantes deficientes em BRs e insensíveis a BRs, encontrados em *Arabidopsis thaliana*, apresentaram diversos defeitos no crescimento, desde nanismo, bem como coloração verde-escura em folhas, retardamento da floração, esterilidade masculina, além de fotomorfogênese na escuridão

total (KIM; WANG, 2010). Em virtude disso, os brassinosteroides passaram a ter atenção especial, sendo considerados hormônios fundamentais aos processos fisiológicos e em múltiplos processos de desenvolvimento: divisão e alongamento celular, diferenciação celular, fotomorfogênese, desenvolvimento reprodutivo, germinação, senescência foliar, modulação da expressão gênica, além de resistência a estresses e senescência (KIM; WANG, 2010; FRIDMAN; SAVALDI--GOLDSTEIN, 2013; WEI; LI, 2016; TAIZ et al., 2017). Alguns estudos indicam que os brassinosteróides têm ação também na fixação de N₂ (KHRIPACH et al., 1999; ANURADHA e RAO, 2001).

Atualmente, uma das principais características dos BRs é o aumento da resistência das plantas aos estresses bióticos e abióticos, desde patógenos, temperaturas extremas, solos salinos, deficiência hídrica, bem como ação de metais e deficiências nutricionais (KRISHNA, 2003; JAVID et al., 2011; VARDHINI, 2012; BAJGUZ, 2013). Em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) tratadas com BR, foi verificada resistência das plantas à seca (PUSTOVOITOVA et al., 2001). Aplicação exógena de BR também aliviou os efeitos negativos da seca em milho (*Zea mays*), reforçando as atividades enzimáticas antioxidantes e os teores de proteínas, água e prolina (ANJUM et al., 2011). A aplicação de BR melhorou a tolerância à seca em arroz (*Oryza sativa*) associado à maior potencial de água dos tecidos, aumento da síntese de metabólitos e aumento da capacidade do sistema antioxidante (FAROOQ et al., 2010). Além disso, em plantas de soja (*Glycine max* L.) tratadas com BR no início da floração e submetidas à deficiência hídrica, proporcionou um aumento na atividade fotossintética, no potencial hídrico foliar, na produção de biomassa e consequentemente no aumento do rendimento da cultura (ZHANG et al., 2008).

As respostas dos BRs aos estresses ainda são bastante complexas envolvendo uma série de ativações gênicas. De modo geral, pesquisas realizadas têm relatado que os BRs estimulam a síntese de enzimas antioxidantes responsáveis pela proteção contra estresses através da transformação das espécies reativas de oxigênio (EROS) formadas, durante o estresse oxidativo, em peróxido de hidrogênio e água (MAZORRAS et al., 2002; BAJGUZ; HAYAT, 2009). Sendo assim, os BRs podem agir na atenuação do estresse através do incremento na atividade das enzimas antioxidantes como a SOD, CAT e APX (MAZORRAS et al., 2002). Também foi verificado que o uso de brassinosteróides inibe a degradação oxidativa de lipídios, diminuindo os teores de

malondialdeído (produto da peroxidação de lipídios), agindo assim como um protetor de membrana (ERSHOVA & KHRIPACH, 1996).

Os brassinosteroides mais utilizados em estudos são o brassinolídeo, 24-epibrassinolídeo e o 28-homobrassinolideo, visto que, são os que apresentam melhores resultados em bioensaios. Dentre esses, o brassinolideo é o que possui maior atividade, entretanto, a utilização mais intensa tem sido 24-epibrassinolídeo e 28-homobrassinolideo, em razão de apresentarem maior estabilidade, bem como menor custo em sua síntese (ALI, 2017). O 24-EpiBL é um brassinosteroide cujos efeitos apresentam maiores resultados positivos tanto sobre a germinação, o desenvolvimento das plântulas, bem como na amenização dos estresse bióticos e abióticos (SAINI et al., 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do Ambiente Experimental

O experimento foi conduzido no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo – AL. O município está situado a 9° 28' de latitude S e 35° 49' de longitude W, a 127 m de altitude.

As condições ambientais foram monitoradas durante todo o período experimental através de uma estação meteorológica automática modelo WS - GP1 (DELTA-T Devices, Cambridge - England), localizada dentro da casa de vegetação, onde foram registradas a temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) a cada 5 minutos, radiação solar ($W \cdot m^{-2}$) em intervalos de 15 segundos e a média armazenada a cada 15 minutos em *datalogger* (Figura 1). De acordo com os dados de temperatura e umidade obtidos foi calculado o DPV (Déficit de Pressão de Vapor) do ar (kPa), por meio da seguinte fórmula:

$$DPV = es - e = \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{237,3 + T}\right) \right] \left(\frac{es - UR}{100}\right)$$

Onde:

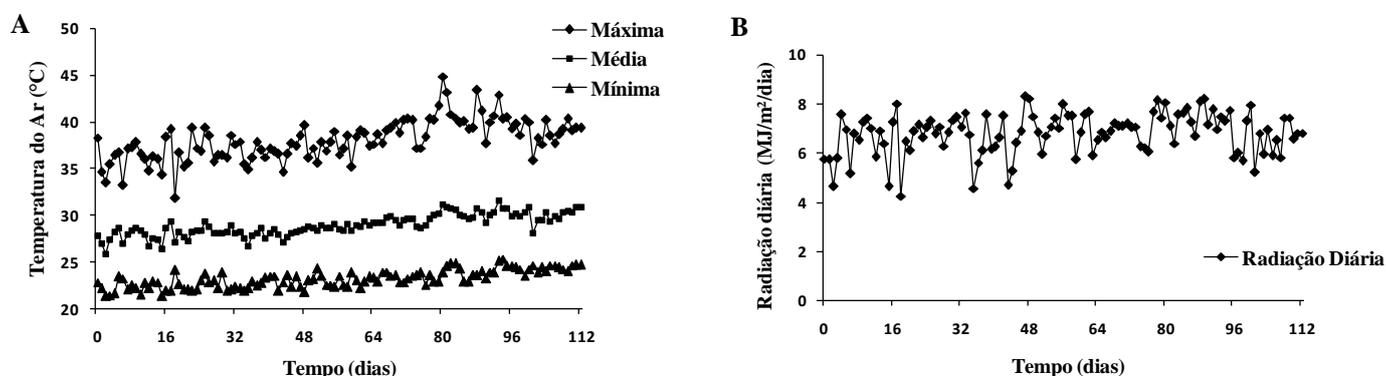
es = Pressão de vapor saturado

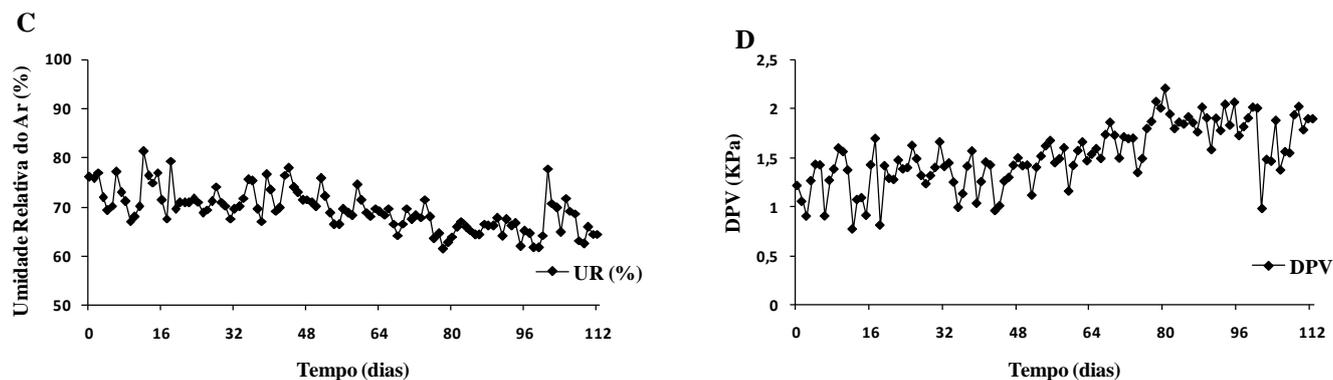
e = Pressão de vapor do ar

T = Temperatura

UR = Umidade relativa

Figura 1. Médias diárias de temperatura do ar (A), radiação diária (B) umidade relativa do ar (C) e déficit de pressão de vapor (DPV) (D) na casa de vegetação durante o experimento.





4.2 Delineamento experimental

O estudo compreendeu a combinação dos fatores Regime Hídrico e Brassinosteróide empregados à cultura da soja. O fator Regime Hídrico foi constituído por duas condições hídricas: irrigado (controle) e déficit hídrico, e o fator Brassinosteróide foi constituído pela presença ou ausência de um análogo do Brassinosteróide (24-Epibrassinolídeo) nas doses de 0 e 0,1 mg/L, utilizando delineamento em blocos casualizados (DBC), no esquema fatorial 2 x 2 com oito repetições. Dessa maneira, o experimento foi composto por quatro tratamentos, sendo eles: “Controle + 24EpiBL”, “Controle - 24EpiBL”, “Déficit Hídrico + 24EpiBL” e “Déficit Hídrico - 24EpiBL”.

A parcela foi constituída por 1 vaso/planta totalizando 32 unidades experimentais. Cada vaso foi composto por um material polimérico sintético com volume de 20 L de substrato, padronizado na cor alumínio.

O experimento foi avaliado em períodos classificados de acordo com o regime hídrico da planta, sendo eles o Estresse Hídrico, equivalente ao período de suspensão total da irrigação das plantas de soja; e a Reidratação, equivalendo ao período de retomada da irrigação das plantas.

4.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos, na casa de vegetação do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (CECA/UFAL), no período compreendido entre os meses de setembro e dezembro de 2019.

O solo utilizado como substrato para a condução do experimento foi coletado numa área pertencente ao CECA. Este solo foi peneirado para a remoção de torrões e

materiais indesejados, e posteriormente foi pesado, com o auxílio de uma balança eletrônica, para a obtenção do peso de 20 kg de substrato para cada vaso.

O solo foi classificado como Franco argiloso-arenoso, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo, na camada de 0-20 cm. Estas amostras foram enviadas e analisadas em laboratório para determinação dos atributos físicos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

Tabela 1. Caracterização física do solo na camada de 0-20 cm. Rio Largo-AL, 2019.

Granulometria			Relação Silte/Argila	Classificação Textural
Areia	Silte	Argila		
Areia Fina	Areia Grossa			
----- % -----				
1	64	2	33	0,06 Franco Argiloarenosa

Tabela 2. Caracterização química do solo na camada de 0-20 cm. Rio Largo-AL, 2019.

pH	Na	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC efetiva	CTC Total	MO	V%	m%	Sat. De Ca	Sat. De Mg	Sat. de K	Sat. de Na
(1:2,5)	--- mg/dm ³ ---			cmol/dm ³ ---			-----		g/kg	----- % -----						
5,9	5	83	195	4,23	1,55	0,04	4,13	6,34	10,43	23,9	60	1	40,6	14,9	4,8	0,2

MO= Matéria Orgânica; V%=Saturação por Base; m%= Saturação por Alumínio. Laboratório de Solo, Água e Planta. Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL).

As sementes de soja utilizadas na semeadura foram obtidas através de doações da UFAL *campus* Arapiraca, sendo estas sementes da cultivar IMA 84114 RR, que apresenta hábito de crescimento determinado, além de boa resistência a doenças bacterianas e nematóides e um bom potencial produtivo. Estas sementes foram previamente inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, por meio de uma solução açucarada, conforme a recomendação da EMBRAPA (1994), na proporção de 500 ml de solução açucarada, e 500 g de inoculante turfoso, para cada 50 kg de sementes.

A semeadura foi realizada após o solo ter sido previamente irrigado até atingir a capacidade de campo, de forma a garantir a efetivação do processo de germinação e o desenvolvimento das plântulas. Foram semeadas 5 sementes de soja por vaso, com início de germinação a partir de 5 dias.

Em relação à capacidade de campo, a mesma foi obtida pelo método da bacia de saturação, onde o solo presente na bacia foi completamente saturado por meio da irrigação. Após a saturação do solo, sua superfície foi coberta com um plástico para

evitar evaporação. O teor de umidade foi então determinado, em intervalos de 12 horas, por amostragem em cada camada. A amostragem e determinação da umidade do solo em cada camada continuaram até ser notada uma variação mínima no teor de água no solo ao longo do perfil em um intervalo de 48 horas, sendo esse valor igual à capacidade de campo.

O desbaste das plântulas foi realizado após o estabelecimento das mesmas, deixando-se três plântulas por vaso. Destas três plântulas em cada vaso, duas foram utilizadas para a avaliação das características morfofisiológicas, sendo uma em cada período de regime hídrico (Estresse hídrico e Reidratação), seguido de análise destrutiva, e uma foi deixada até o final do ciclo da soja para avaliar a produção de grãos. A irrigação das plântulas foi feita a cada 2 dias.

4.4 Preparo e aplicação do análogo de Brassinosteróide (BR)

O regulador vegetal utilizado foi um análogo do brassinosteróide ($C_{28}H_{48}O_6$) (24-epibrassinolideo) da marca comercial *Phyto Technology Laboratories*® dissolvido em água ultrapura para obter a solução estoque e posteriormente diluído em água ultrapura novamente para obter a concentração de 0,1 mg/L (YUAN et al., 2010). O hormônio foi pulverizado nas plantas numa alíquota de 30 mL por vaso, em intervalos de 5 dias, aos 12, 17, 22 e 27 dias após a semeadura (DAS), totalizando 4 aplicações. As pulverizações foram feitas na parte abaxial e adaxial das folhas até o ponto de escorrimento, com o auxílio de pulverizadores manuais no período das 17 h (RODRÍGUEZ et al., 2006), dentro de uma câmara plástica improvisada para evitar contaminação das plantas adjacentes no momento da aplicação. As plantas de soja que não receberam o regulador foram pulverizadas apenas com água destilada.

4.5 Imposição dos Regimes hídricos

A irrigação das plantas de soja foi realizada a cada dois dias, mantendo a umidade próxima à capacidade de campo, até as plantas atingirem a fase de crescimento vegetativo V3, aos 16 dias após a semeadura (DAS), quando a irrigação foi reduzida gradativamente até a sua suspensão total, aos 27 DAS – período que coincidiu com a última aplicação do brassinosteróide - em metade das parcelas do experimento.

O manejo da irrigação foi realizado com base na umidade do solo, sendo a mesma monitorada com um sensor de umidade modelo SM200 acoplado ao medidor de

umidade modelo HH2 (DELTA-T Devices, Cambridge – England). Os vasos foram preenchidos com solo seco ao ar livre e foi instalado o sensor SM200, obtendo-se o peso seco (PS) e leitura na SM200 (Lps) (MORALES, 2012). Em seguida, os mesmos foram saturados e, após o término da percolação foram pesados, obtendo-se o peso úmido (PU) e leitura de umidade de (Lpu). A diferença entre PS e PU foi atribuída à capacidade de armazenamento de água no vaso (Cav). Considerou-se que 1,0g equivale a 1 mL da capacidade de armazenamento de água nos vasos (MORALES, 2012). As leituras com o sensor SM200 foram feitas a cada dois dias em cada tratamento. Os tratamentos de irrigação foram definidos em função da reposição de água (T), conforme o quadro abaixo:

Quadro 1. Regime hídrico das plantas de soja durante as aplicações do 24-Epi brassinolídeo antes da suspensão total da irrigação.

Atividade	1° Aplicação do 24- EpiBL	2° Aplicação do 24- EpiBL	3° Aplicação do 24- EpiBL	4° Aplicação do 24- EpiBL
Época (DAS)	12 DAS	17 DAS	22 DAS	27 DAS
T	100%	85%	70%	55%

As leituras na SM 200 foram realizadas a cada dois dias, de modo que os tratamentos irrigados (controle) foram mantidos com a umidade equivalente à capacidade de armazenamento de água nos vasos (100% da Cav), enquanto que os tratamentos “Déficit hídrico” tiveram a umidade reduzida gradativamente. O volume de água aplicado em cada tratamento foi calculado por:

$$V = \{[(Lpu-Lps) \times T/100 + Lps] - LD\} \times QA \quad (1)$$

em que:

V - volume em mL;

Lpu - leitura na SM 200 do vaso saturado com água (%);

Lps - leitura na SM 200 do vaso com solo seco (%);

T - níveis de reposição de água (1,0; 0,85; 0,70; 0,55);

LD - leitura diária com a SM 200 (%).

$$QA = [Cav / (Lpu - Lps)] \times 1000(2)$$

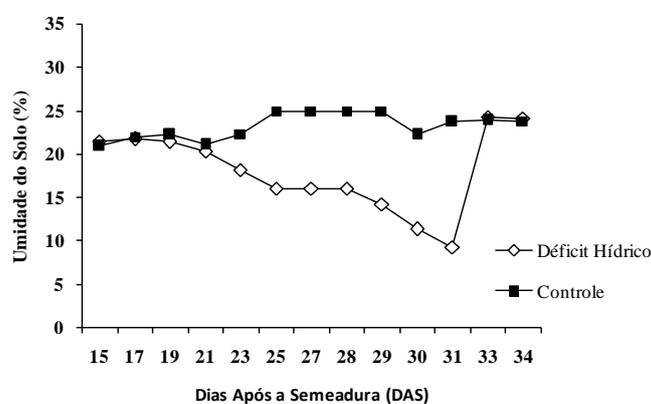
em que:

Cav = Capacidade de armazenamento de água, dada em L;

QA = Quantidade de Água

Após a suspensão total da irrigação, foram feitas avaliações morfofisiológicas em todas as plantas do experimento. O período máximo de deficiência hídrica das plantas impostas nessas condições foi determinado pelo murchamento total das folhas, ao quinto dia após a suspensão total da irrigação (aos 32 DAS), onde as mesmas foram reidratadas por três dias e novamente avaliadas (até os 35 DAS).

Figura 2. Média da umidade do solo (%) em cada tratamento do experimento em função dos dias após a semeadura (DAS).

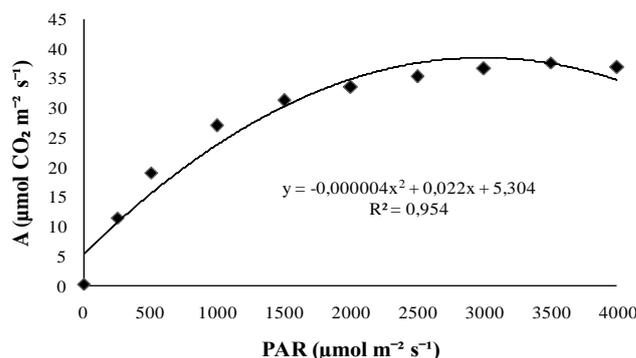


4.6 Avaliações fisiológicas

Com o uso de um medidor de trocas gasosas com sistema aberto de fluxo de ar (IRGA- *Infra Red Gas Analyzer*) modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA), foram medidas a condutância estomática ($gs, mol H_2O m^{-2} s^{-1}$), taxa fotossintética ($A, \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$) e transpiratória ($E, mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$) concentração interna de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$), temperatura foliar ($^{\circ}C$), Déficit de Pressão de Vapor ($DPV_{folha-ar}$) (KPa) e com os valores de A , E , e gs , foram calculados a relação eficiência instantânea do uso da água (A/E) e a eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s).

As medições de trocas gasosas, em diferentes níveis de PAR incidente na superfície foliar (0, 250, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 μmol de fótons $m^{-2} s^{-1}$) foram realizadas com o auxílio da *Light Curve* do Software do IRGA para a determinação da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos a serem utilizados na câmara, onde foi empregado um fluxo fotossintético de 2500 μmol de fótons $m^{-2} s^{-1}$.

Figura 3. Curva de resposta à luz em plantas de soja: Assimilação de CO₂ em função da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)



O acompanhamento do *status* hídrico das plantas de soja foi mediante os valores de condutância estomática (SALINET, 2009), pois, conforme Flexas et al. (2004), a condutância estomática é o indicador mais sensível à severidade do estresse hídrico em folhas para propósitos comparativos em estudos com fotossíntese. Nesse mesmo período, simultaneamente ao decréscimo dos valores da condutância estomática, ocorria também o murchamento das folhas das plantas de soja submetidas ao déficit hídrico no experimento. Foram utilizados intervalos de condutância estomática definidos por Salinet (2009) como base para o acompanhamento do déficit hídrico nas plantas, onde: i) estresse moderado: $g_s = 0,1$ a $0,2 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e ii) estresse severo: $g_s < 0,1 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As medições de trocas gasosas foram realizadas entre as 9h10 min e 11h20 min, considerando-se que próximo das 12h, geralmente ocorre um aumento na temperatura e fechamento parcial ou total dos estômatos.

O Conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinado pelo método de Slavik (1974) foi calculado com obtenção da massa da matéria fresca (Mf), massa da matéria túrgida (Mt) e massa da matéria seca (Ms). Em seguida, os valores foram substituídos na fórmula:

$$\text{CRA} = [(Mf - Ms) \times (Mt - Ms)^{-1}] \times 100.$$

O potencial hídrico foi determinado na antemanhã (Ψ_{am}), entre 4:00 e 5:30h e às 12:00h (potencial hídrico do xilema, Ψ_x) utilizando uma bomba de pressão do tipo Scholander modelo 3000 (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, Califórnia-USA).

Para a determinação do conteúdo de clorofila foram pesados 50 mg de matéria fresca dos trifólios da parte mediana das plantas de soja, onde foram cortados em formato de discos e colocados em tubos de ensaio de tampa rosqueável, envolvidos com

papel alumínio e adicionados em 5 ml de acetona a 80%, e mantidos por 24h em ambiente refrigerado para a extração dos pigmentos. Em seguida, foram realizadas as leituras em 663, 645 e 480 nm, para a determinação das clorofilas *a*, *b* e carotenoides, respectivamente (LICHTENTHALER & WELBURN, 1983)

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) foi determinada por meio de um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA), após adaptar as folhas ao escuro por 30 minutos utilizando-se clips foliares. O rendimento quântico efetivo do PSII (Yield) foi determinado às 12:00 horas da manhã sob luz ambiente.

Todas essas avaliações fisiológicas foram realizadas na fase de crescimento vegetativo da soja, entre os dias 28 e 35 após a semeadura (DAS) equivalente aos estádios V7 e V9 das plantas.

4.7 Avaliações morfológicas

As avaliações biométricas foram mensuradas ao longo do experimento através das seguintes variáveis:

- Altura de Plantas: Medida com o auxílio de uma fita métrica da distância entre o nível do solo até o ápice da haste principal. Resultado expresso em centímetros (cm).
- Diâmetro do caule: Medido com o auxílio de um paquímetro digital realizada na haste principal na região acima do nó da base. Resultado expresso em milímetros (mm).
- Número de folhas por planta: Somatório total dos trifólios da planta.
- Área foliar: A área foliar foi medida através da seguinte fórmula:

$$AF = C \times L \times (0,3)$$

Onde: C: Comprimento da folha (cm);

L: Largura da folha (cm).

Com o resultado da fórmula acima, encontrou-se o valor de uma área equivalente a de um retângulo. Como as folhas de soja apresentam um formato ovóide ou lanceolado, foram descontados 30% da área foliar para se ter uma maior precisão do valor. Resultado expresso em centímetros quadrados (cm²).

- Índice de área foliar (IAF): Foi medido através da fórmula:

$$IAF = AF \times NFP \times NP \text{ m}^2$$

Onde: AF: área foliar (cm²);

NFP: Número de folhas por planta;

NP m²: Número de plantas por m².

Resultado expresso em metros quadrados (m²).

4.8 Avaliações dos componentes de produção

Ao final do experimento, quando as plantas de soja atingiram a maturação plena com 95% das vagens apresentando coloração madura foram mensuradas as seguintes variáveis:

- Número de vagens por planta: Somatório de todas as vagens da planta.
- Número de grãos abortados: Somatório de todos os grãos abortados por planta.
- Diâmetro do grão: Medição do diâmetro dos grãos de todas as plantas com o auxílio de um paquímetro digital. Resultado expresso em milímetros (mm).
- Tamanho do grão: Medição do tamanho dos grãos de todas as plantas com o auxílio de um paquímetro digital. Resultado expresso em milímetros (mm).
- Peso de mil grãos: Pesagem de cem grãos por plantas e transformação para peso de mil grãos. Resultado expresso em gramas (g).
- Peso de grãos produzidos por planta: Pesagem de todos os grãos produzidos por planta.
- Massa de matéria seca: Para mensuração da massa seca no final do experimento, as plantas foram cortadas rente ao solo sendo separadas em caule, folhas e raiz. O material coletado foi colocado para secar em estufa de circulação de ar forçado por 72 horas para folhas, raízes e caules à temperatura de 65°C, sendo todos, em seguida, pesados em balança analítica. Resultado expresso em gramas (g).

4.9 Análises estatísticas

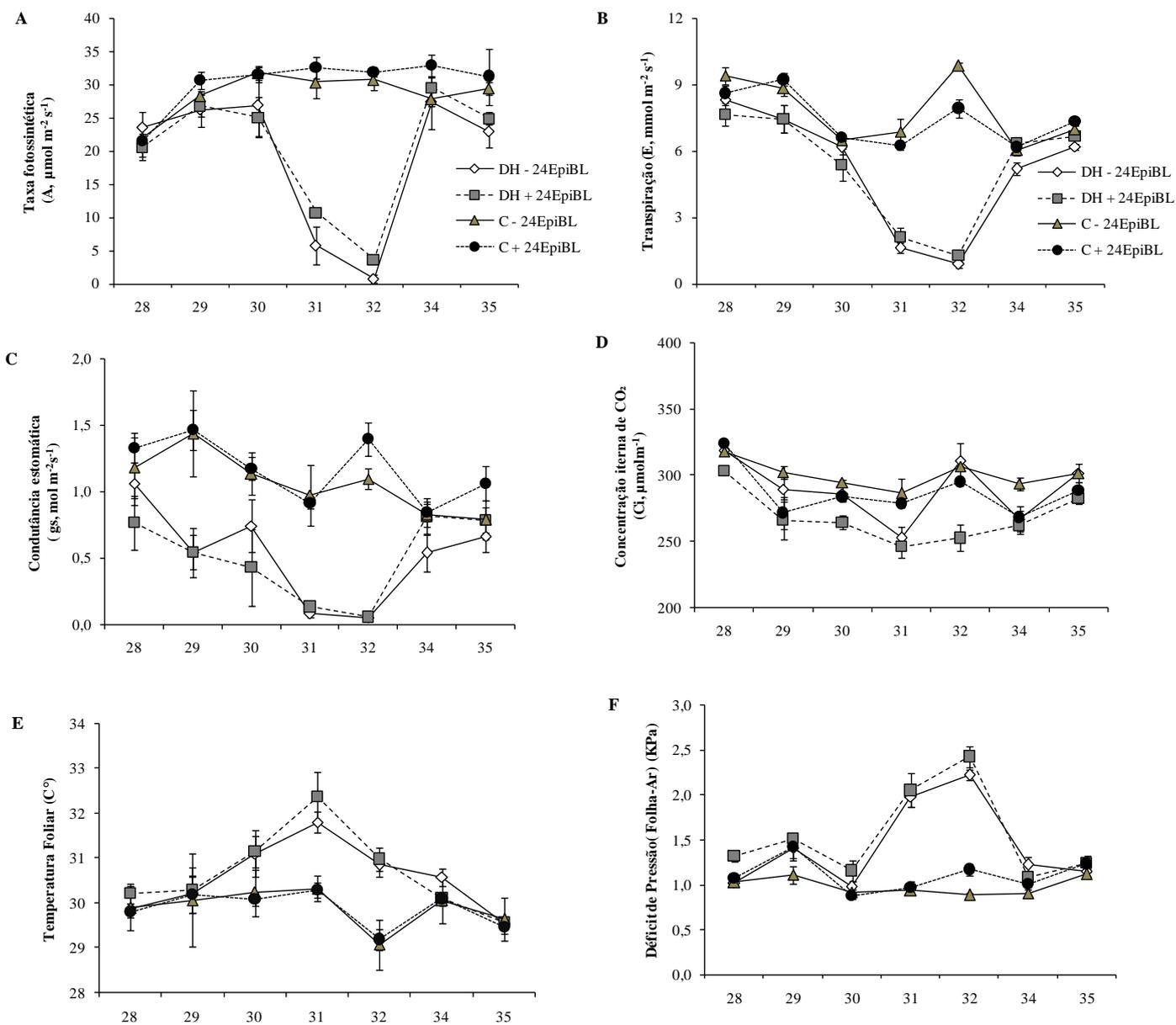
Para os parâmetros que foram analisados diariamente, adotaram-se gráficos de linhas com barras de erros para a representação dos dados. Para os parâmetros que foram avaliados em períodos específicos do experimento, os dados obtidos destes foram submetidos às análises de variâncias a 0,1 , 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, e, quando observada diferença estatística significativa, empregou-se o Teste de Tukey para a comparação das médias, sendo estas representadas na forma de gráficos de colunas. Estas análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR 5.6, e os gráficos e tabelas foram confeccionados com auxílio do programa Excel.

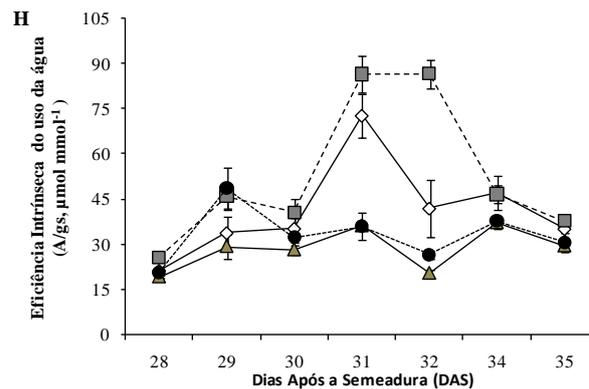
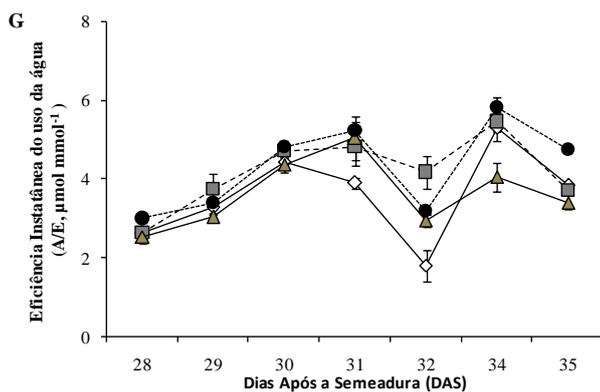
5. RESULTADOS

5.1. Atributos fisiológicos da soja

Plantas de soja sob déficit hídrico apresentaram diminuição nos níveis de Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância estomática (gs) (Figura 4).

Figura 4. Influência do 24-Epibrassinólídeo e do déficit hídrico sobre a taxa fotossintética (A), transpiração (B), condutância estomática (C), concentração interna de CO₂ (D), temperatura foliar (E), déficit de pressão de vapor (F), eficiência instantânea (G) e eficiência intrínseca do uso da água (H) de plantas de soja.





Ao longo do período de estresse hídrico, as plantas de soja estressadas apresentaram uma queda significativa na taxa fotossintética, em que o tratamento “Déficit hídrico – 24EpiBL” reduziu em 81% quando comparado ao seu controle (Controle - 24EpiBL), que apresentou um valor de $30,38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 31 DAS, enquanto o tratamento “Déficit hídrico + 24EpiBL” apresentou redução de 67% em comparação ao seu controle, que teve um valor de $32,60 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Comparando as plantas sob tratamentos de déficit hídrico, pode-se observar que, aos 31 DAS, aquelas que receberam o 24-epibrassinolídeo apresentaram taxas fotossintéticas de $10,74 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as que não receberam o regulador apresentaram taxas de $5,77 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

No estresse hídrico severo, aos 32 DAS, as plantas do tratamento “Déficit hídrico – 24EpiBL” apresentaram taxas fotossintéticas inferiores a $0,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as do tratamento “Déficit hídrico + 24EpiBL” apresentaram valores próximos a $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Com a reidratação (aos 34 DAS), as plantas estressadas recuperaram suas taxas fotossintéticas, em que o tratamento que recebeu a aplicação do biorregulador aumentou a fotossíntese para $29,61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e o tratamento sem o biorregulador aumentou para $27,38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As plantas do tratamento “Controle + 24EpiBL” apresentaram as maiores taxas fotossintéticas em praticamente todo o período de avaliação.

A diminuição da taxa transpiratória e da condutância estomática foi bastante significativa em plantas submetidas a déficit hídrico em comparação aos seus controles (Figura 4 B e C). A transpiração foi semelhante em plantas dos tratamentos déficit hídrico, com um aumento sutil de $0,6573$ e $0,8050 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 28 e 30 DAS, respectivamente, em favor do tratamento “Déficit hídrico - 24EpiBL”. Aos 31 DAS, os tratamentos “Déficit hídrico + 24EpiBL” e “Déficit hídrico - 24EpiBL” levaram à

redução da transpiração em 66,3% e 76,53%, respectivamente, comparados aos seus controles.

A condutância estomática das plantas sob Déficit hídrico - 24EpiBL foi maior aos 28 e 30 DAS, quando as mesmas apresentaram valores de 1,06 e 0,74 mol m⁻² s⁻¹, enquanto que neste mesmo período, plantas sob Déficit hídrico + 24EpiBL tiveram 0,76 e 0,42 mol m⁻² s⁻¹. Com a retomada da irrigação (aos 34 DAS), plantas pulverizadas com o 24-epibrassinolídeo (Déficit hídrico + 24EpiBL) apresentaram maiores taxas transpiratórias e maiores condutâncias estomáticas, recuperando 100% e 96,42% dos seus valores, respectivamente (Figura 4 B e C).

A concentração interna do CO₂ (C_i) foi menor em plantas estressadas pulverizadas com o 24-epibrassinolídeo do que em plantas não pulverizadas (Figura 4 D). Ao longo do estresse hídrico, a concentração interna do CO₂ variou bastante em plantas estressadas não pulverizadas com o 24-epibrassinolídeo, apresentando uma média de 291,56 μmol m⁻¹ nesse intervalo. Em plantas pulverizadas sob déficit hídrico, a média de C_i foi de 213,84 μmol m⁻¹. Com a retomada da irrigação, plantas de todos os tratamentos apresentaram médias próximas de 288,92; 301,4; 282,72 e 301,65 μmol m⁻¹ respectivamente para “Controle + 24EpiBL”, “Controle - 24EpiBL”, “Déficit hídrico + 24EpiBL” e “Déficit hídrico - 24EpiBL, aos 35 DAS.

A temperatura foliar e o déficit de pressão de vapor foram maiores nas plantas sob déficit hídrico durante todo o período de deficiência hídrica, sobretudo com o prolongamento do estresse (Figuras 4 E e F). Aos 31 DAS, plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24EpiBL” e “Déficit hídrico - 24EpiBL” registraram as maiores temperaturas foliares, com valores em torno de 32,3 e 31,8°C, respectivamente, enquanto que os seus controles tiveram médias semelhantes a 30,3°C nesse mesmo período. O DPV das plantas dos tratamentos sob déficit hídrico entre os dias 31 e 32 DAS foi mais que o dobro dos seus tratamentos controle, quando os tratamentos “Déficit hídrico + 24EpiBL” e “Déficit hídrico - 24EpiBL” apresentaram médias de 2,23 e 2,1 kPa, enquanto que os seus controles obtiveram 1,056 e 0,91 kPa, respectivamente.

A aplicação do 24EpiBL em plantas submetidas a déficit hídrico conferiu melhor desempenho na eficiência instantânea (A/E) bem como na eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) (Figuras 4 G e H). As maiores eficiências do uso da água foram observadas aos 31 e 32 DAS, em plantas sob “Déficit hídrico + 24EpiBL” com aumentos de 23,4% e 131,67% na Eficiência instantânea e de 18,72 e 107,09% na

Eficiência intrínseca do uso da água, em comparação às plantas nas mesmas condições sem a aplicação foliar do 24-EpiBL.

5.2. Conteúdo Relativo de Água (CRA %) e Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

No presente estudo, verificou-se diferença estatística significativa no conteúdo relativo de água (CRA%) referente ao primeiro dia (28 DAS) e ao último dia do estresse hídrico (estresse severo, aos 32 DAS) em plantas de soja. Conforme a Tabela 2, observou-se efeito no fator regime hídrico (RH) e na interação entre o brassinosteróide e o regime hídrico (24-EpiBL x RH) no período de estresse hídrico (28 aos 32 DAS), enquanto que na reidratação (35 DAS) não houve diferença estatística em nenhum dos fatores estudados para o conteúdo relativo de água. Além disso, o coeficiente de variação (CV%) para esse parâmetro variou de 3,88 à 10,91%, o que representa uma precisão experimental variando entre ótima (< 10%) e boa (entre 10 e 15%).

Tabela 3. Resumo da Análise de variância referente ao Conteúdo Relativo de Água (CRA%) em plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-Epibrassinolídeo.

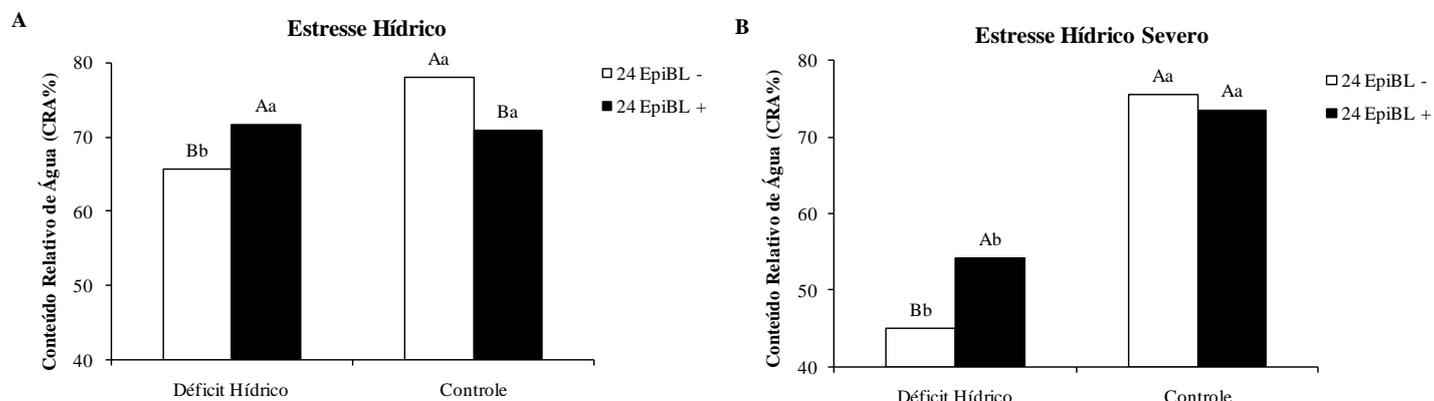
Estresse Hídrico		F Calculado	
Fontes de Variação	G.L.	CRA	CRA (Estresse Severo)
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	0,36 ^{ns}	2,974 ^{ns}
Regime Hídrico (RH)	1	34,572 ^{***}	121,454 ^{***}
24-EpiBL x RH	1	44,434 ^{***}	5,51 [*]
CV (%)		3,88	10,28

Reidratação		CRA	
Fontes de Variação	G.L.	CRA	
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	3,055 ^{ns}	
Regime Hídrico (RH)	1	0,043 ^{ns}	
24-EpiBL x RH	1	3,4 ^{ns}	
CV (%)		10,91	

G L. = Graus de Liberdade; CRA = Conteúdo Relativo de Água; CV (%) = Coeficiente de Variação. ns: não significativo; *, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Conforme verificado na Tabela 2, houve efeito significativo da interação entre o Brassinosteróide e o Regime Hídrico (24-EpiBL x RH) no período de restrição hídrica para o Conteúdo Relativo de Água. Sendo assim, aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias como complemento do teste F, representado em forma de gráfico na Figura 5. Na Reidratação, não houve efeito significativo dos fatores nem da sua interação sobre o CRA, portanto, não foi necessário aplicar testes de comparação de médias complementares ao teste F.

Figura 5. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação brassinosteróide x regime hídrico para o conteúdo relativo de água em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico e aplicações do 24-epibrassinolídeo aos 28 (Estresse hídrico) e 32 DAS (Estresse hídrico severo).



*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito do brassinosteróide dentro de cada regime hídrico e letras minúsculas iguais entre regimes hídricos dentro do brassinosteróide não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observou-se que no estresse hídrico (28 DAS), o conteúdo relativo de água (CRA %) foi menor em plantas que não receberam a aplicação do 24EpiBL, resultando em uma diferença de 6% em relação às plantas pulverizadas com o biorregulador (Figura 5 A). Nas plantas controle, aquelas não pulverizadas apresentaram valores de CRA 12% menores do que as que receberam a aplicação do biorregulador.

No estresse hídrico severo (32 DAS), plantas que não receberam a aplicação do 24EpiBL apresentaram uma redução ainda maior do Conteúdo Relativo de Água, representando queda de 9,19%, quando comparadas às plantas que receberam a aplicação do 24 EpiBL, e de 30,5% em comparação ao seu controle (Figura 5 B).

Tabela 4. Resumo da Análise de variância referente ao Potencial Hídrico Foliar (ΨW) de plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-Epibrassinolídeo.

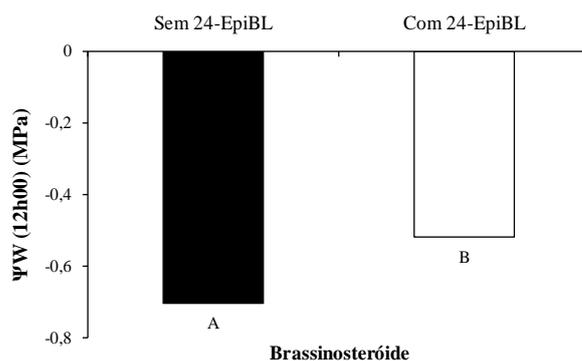
Estresse Hídrico		F Calculado		
Fontes de Variação	G.L.	ΨW 12h00	ΨW 4h00 (Estresse Severo)	ΨW 12h00 (Estresse Severo)
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	16,396 ***	8,382 **	32,749 ***
Regime Hídrico (RH)	1	1,676 ns	400,252 ***	322,890 ***
24-EpiBL x RH	1	4,499 ns	8,084 **	24,598 ***
CV (%)		20,93	19,74	11,28

Reidratação		F Calculado	
Fontes de Variação	G.L.	ΨW 4h00	ΨW 12h00
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	0,14 ns	1,708 ns
Regime Hídrico (RH)	1	3,366 ns	32,565 ***
24-EpiBL x RH	1	0,198 ns	0,26 ns
CV (%)		21,16	12,67

G L. = Graus de Liberdade; ΨW 12h00 = Potencial Hídrico Foliar ao meio-dia; ΨW 4h00 = Potencial Hídrico Foliar pela antemanhã; CV (%) = Coeficiente de Variação. ns: não significativo; *, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

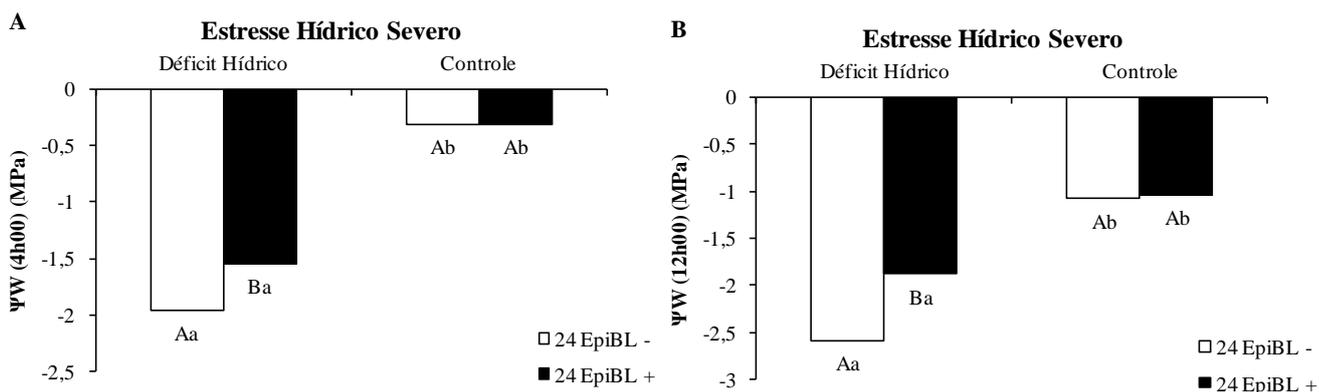
De acordo com a Tabela 4, observou-se diferença estatística significativa somente para o fator isolado brassinosteróide (24-Epi brassinolídeo) no potencial hídrico às 12h00 (ΨW 12h00). Dessa maneira, aplicou-se o teste de Tukey para a comparação de médias do fator brassinosteróide conforme figura 6, onde foi constatado que plantas de soja dos tratamentos “Sem o 24-EpiBL” reduziram 35% do ΨW em comparação às plantas dos tratamentos “Com o 24-EpiBL”, o que confirma a influência positiva da aplicação do Brassinosteróide sobre os tratamentos das plantas de soja.

Figura 6. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes ao fator brassinosteróide para o potencial hídrico foliar às 12h00 (ΨW 12h00) de plantas de soja no período de Estresse Hídrico (28 DAS).



Como pode ser visto na Tabela 4, houve efeito significativo de todos os fatores estudados sobre o ΨW às 4h00 e às 12h00 do Estresse severo (32 DAS), bem como da interação 24-EpiBL x RH (Figura 7).

Figura 7. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação brassinosteróide x regime hídrico para os potenciais hídricos foliares (ΨW 4h00 e 12h00) em plantas de soja no período de Estresse Severo (32 DAS).

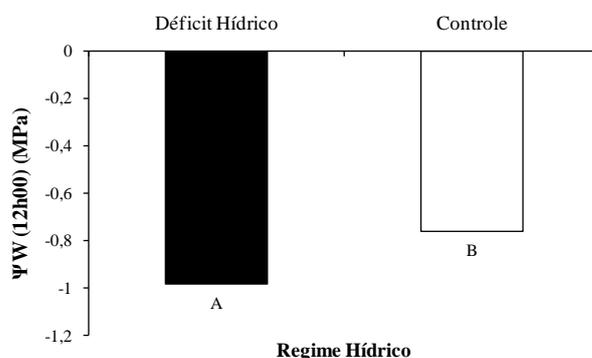


*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito do brassinosteróide dentro de cada regime hídrico e letras minúsculas iguais entre regimes hídricos dentro do brassinosteróide não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O estresse hídrico severo reduziu drasticamente o potencial hídrico de plantas de soja, mas a aplicação foliar do 24-EpiBL amenizou o efeito desse estresse (Figura 7 A e B). Os menores potenciais hídricos foliares registrados às 4h00 e às 12h00 foram os de plantas de soja do tratamento “DH – 24EpiBL”, com valores de -1,96 e -2,58 MPa respectivamente, o que representam reduções de 528,84% e 138,88% do ΨW de 4h00 e 12h00 em comparação aos seus respectivos controles. Por outro lado, as plantas do tratamento “DH + 24EpiBL” tiveram os valores do ΨW de 4h00 e 12h00 entre -1,54 e -1,88 MPa, representando decréscimos de 399% e 81,56%, respectivamente, em comparação aos seus controles (Figuras 7 A e B).

No período de reidratação, não houve efeito significativo em nenhum dos fatores estudados sobre o ΨW das 4h00 (Tabela 4). No ΨW das 12h00, houve efeito significativo apenas do fator regime hídrico (RH), em que as plantas submetidas a déficit hídrico apresentaram médias significativamente menores de ΨW do que as dos tratamentos controle (Figura 8).

Figura 8. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes ao fator regime hídrico (RH) para o potencial hídrico foliar às 12h00 (ΨW 12h00) de plantas de soja no período de reidratação (35 DAS).



*Médias seguidas de letras diferentes representam diferença estatística significativa pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para o fator regime hídrico.

De uma maneira geral, o CV% variou entre 11,28 e 21,16% (tabela 4) para o Potencial Hídrico Foliar ΨW , representando uma precisão experimental aceitável.

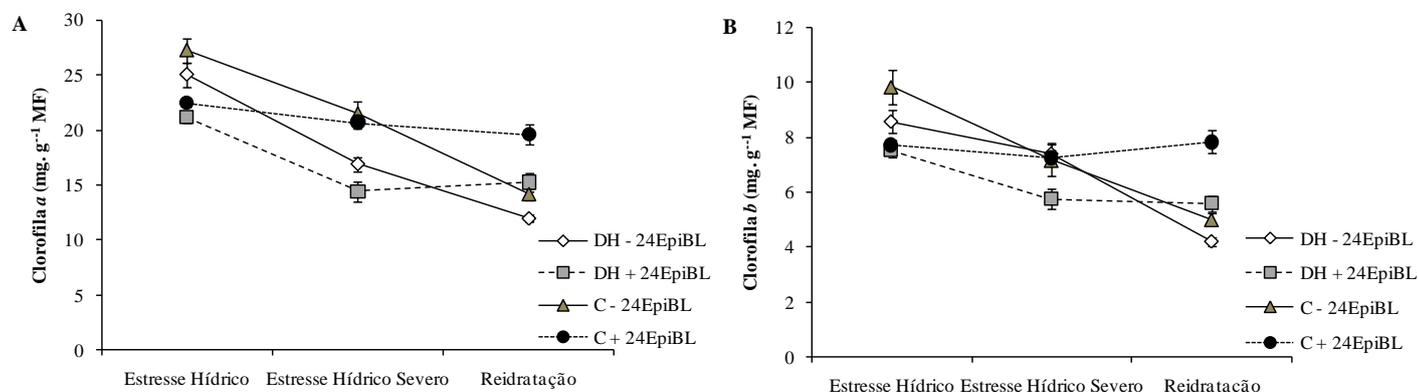
5.3. Produção de pigmentos fotossintéticos e a fluorescência das clorofilas

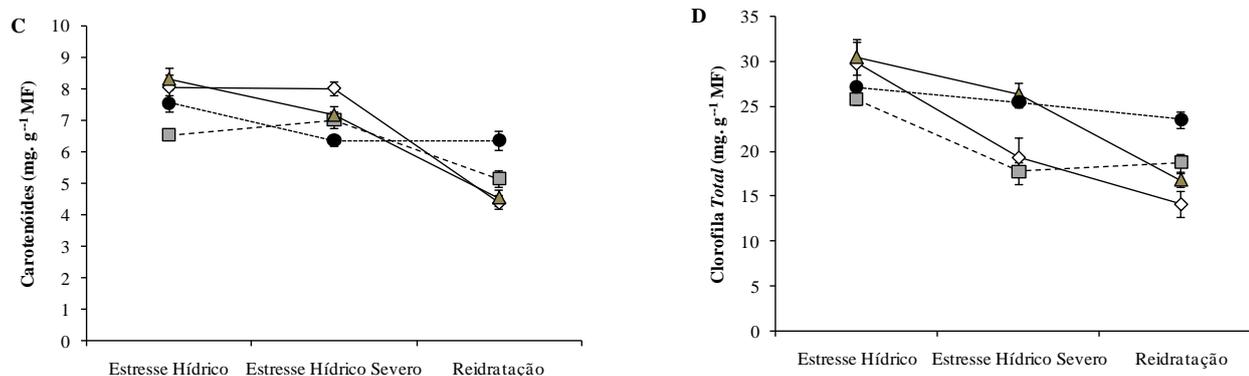
No período de estresse hídrico (aos 28 DAS), os teores de clorofila e carotenóides foram menores em plantas de soja dos tratamentos que receberam a aplicação foliar do 24-EpiBL em comparação às dos tratamentos que não receberam essa aplicação (Figura 9). No Estresse hídrico severo (aos 32 DAS), plantas do tratamento “DH +24EpiBL” apresentaram reduções de 31,7 e 23,4% nos teores de clorofila *a* e *b* quando comparado ao período de estresse hídrico (aos 28 DAS), ficando com valores de 14,46 mg.g⁻¹ MF para clorofila *a* e 5,76 mg.g⁻¹ MF para clorofila *b* (Figuras 9 A e B). Por outro lado, plantas do tratamento “DH - 24EpiBL” reduziram em 32,3 e 13,74% os seus teores de clorofila *a* e *b*, chegando a valores 16,97 e 7,41 mg.g⁻¹ MF, respectivamente.

Plantas do tratamento “DH +24-EpiBL” tiveram aumento de 7,51% no Teor de Carotenóides no Estresse Hídrico Severo, com 7,01 mg.g⁻¹ MF, enquanto que as plantas do tratamento “DH- 24EpiBL” tiveram redução de 0,5% no, chegando ao valor de 8,01 mg.g⁻¹MF quando comparadas ao período inicial de estresse hídrico (Figura 9 C). O teor de clorofila total sofreu maior redução em plantas do tratamento “DH- 24EpiBL” quando comparadas ao tratamento “DH +24-EpiBL”, onde em plantas do primeiro tratamento a redução foi de 35,03% e nas do segundo tratamento foi de 31,08% (Figura 9 D).

No período de reidratação (aos 35 DAS), plantas de soja dos tratamentos que receberam a aplicação foliar do 24-EpiBL apresentaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos em relação às dos tratamentos que não receberam essa aplicação.

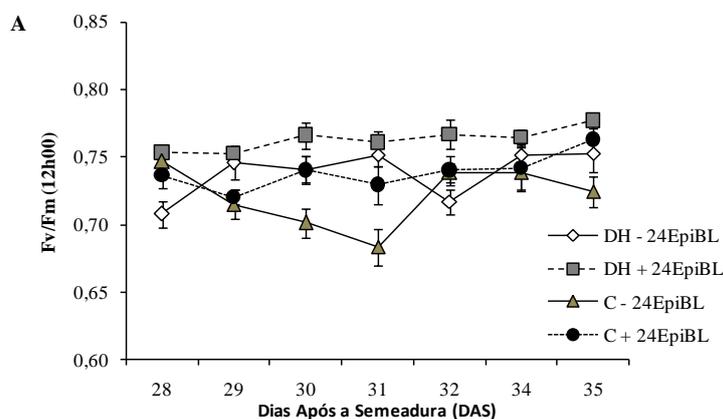
Figura 9. Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre as Clorofilas *a* e *b*, Clorofilas Totais e Carotenóides de plantas de soja em diferentes regimes hídricos.





A eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) ao meio dia foi maior em plantas sob déficit hídrico pulverizadas com o regulador de crescimento 24-epibrassinolídeo durante todo o período de avaliação (Figura 10 A).

Figura 10. Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em plantas de soja.



Plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24-EpiBL” apresentaram médias de Fv/Fm superiores aos das plantas do tratamento “Déficit hídrico - 24-EpiBL” ao longo do período de deficiência hídrica (dos 28 aos 32 DAS), sendo esse aumento significativo no estresse hídrico severo, onde as primeiras apresentaram médias de 0,767, enquanto que as últimas tiveram médias de 0,717, o que representa um aumento de 7% da eficiência fotoquímica nas plantas que receberam o 24-EpiBL (Figura 10 A).

Ainda no período de deficiência hídrica, as plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24-EpiBL” apresentaram uma média de Fv/Fm de 0,76, tendo um aumento de 3,65% comparado ao seu controle neste mesmo período, que obteve média de 0.733. Paralelamente a isso, plantas do tratamento “Controle – 24-EpiBL” apresentaram média na Fv/Fm de 0.717 entre os dias 28 e 32 DAS, enquanto que as plantas do tratamento “Déficit hídrico - 24-EpiBL” tiveram média de 0,733, o que representa um crescimento

de 2,20%. Apesar desse crescimento observado nas plantas sob “Déficit hídrico - 24-EpiBL” em relação ao seu controle no período de deficiência hídrica, o estresse hídrico severo, especificamente aos 32 DAS, causou uma redução de cerca de 3% da máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II das plantas desse tratamento quando comparadas ao seu controle (Figura 10 A).

No período de reidratação das plantas (dos 33 aos 35 DAS), aquelas pulverizadas com o regulador de crescimento tiveram médias superiores de Fv/Fm em comparação às que não receberam a aplicação do regulador, como observado na Figura 10, quando os primeiros atingiram valores de 0,777 (Déficit hídrico + 24-EpiBL) e 0,763 (Controle + 24-EpiBL) e os últimos 0,753 (Déficit hídrico - 24-EpiBL) e 0,725 (Controle - 24-EpiBL).

Em relação à eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II pela antemanhã (Fv/Fm antemanhã), houve efeito significativo apenas do fator regime hídrico (RH) por ocasião do estresse hídrico severo. No período de Reidratação, apenas o fator brassinosteróide (24-Epibrassinolídeo) apresentou efeito significativo sobre essa variável (Tabela 5).

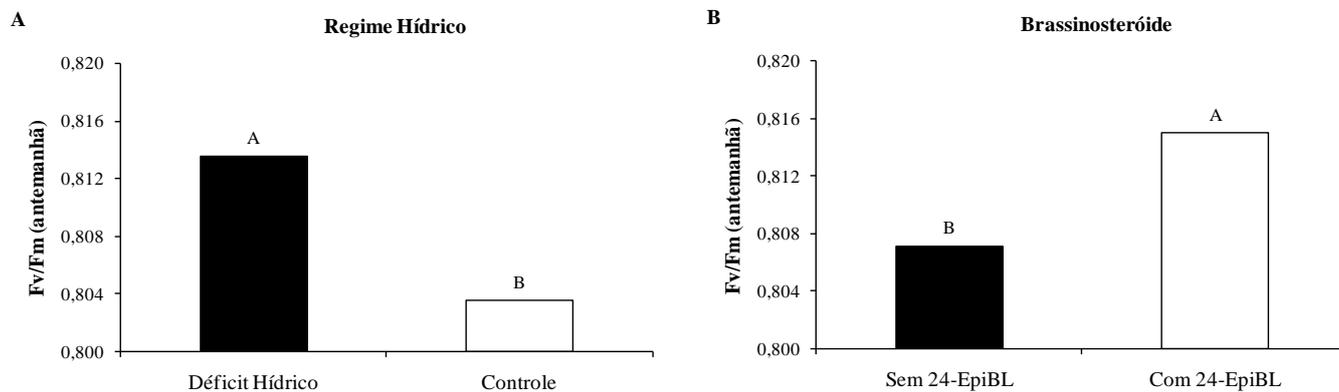
Tabela 5. Resumo da Análise de variância referente à máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm antemanhã) de plantas de soja em diferentes regimes hídricos e aplicações do 24-Epibrassinolídeo.

Fontes de Variação	G.L.	F Calculado	
		Fv/Fm (Estresse Severo)	Fv/Fm (Reidratação)
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	0,187 ^{ns}	5,886 [*]
Regime Hídrico (RH)	1	9,140 ^{**}	1,216 ^{ns}
24-EpiBL x RH	1	0,746 ^{ns}	0,438 ^{ns}
CV (%)		1,08	1,06

G L. = Graus de Liberdade; Fv/Fm = Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II pela antemanhã; CV (%) = Coeficiente de Variação. ns: não significativo; *, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Foram constatados que, no estresse severo, plantas dos tratamentos do regime “Déficit hídrico” apresentaram maiores médias de Fv/Fm pela antemanhã do que as plantas dos tratamentos do regime “Controle” (Figura 11 A).

Figura 11. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à Fv/Fm (antemanhã) dos fatores regime hídrico (Estresse Severo, A) e brassinosteróide (Reidratação, B) de plantas de soja.



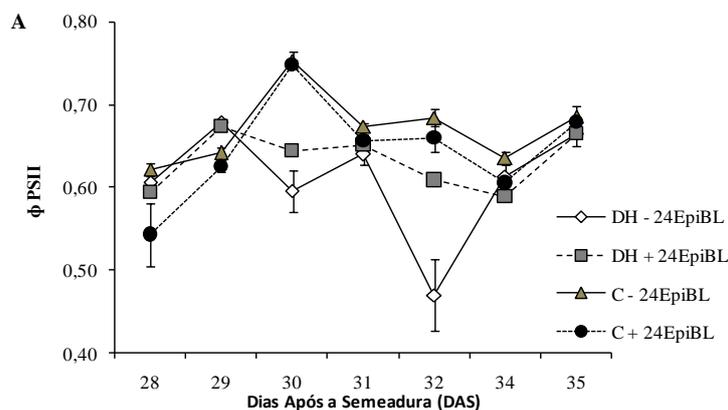
*Médias seguidas de letras diferentes representam diferença estatística significativa pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os fatores isolados regime hídrico e brassinosteróide.

Além disso, na Reidratação, plantas dos tratamentos “Com 24-EpiBL” apresentaram maiores médias na Fv/Fm pela antemanhã do que as plantas dos tratamentos “Sem 24-EpiBL”, o que confirma o efeito positivo do 24-EpiBL sobre esse parâmetro (Figura 11 B).

O CV% apresentou uma ótima precisão experimental para Fv/Fm pela antemanhã (Tabela 5).

Conforme ilustrado na Figura 12, no período de deficiência hídrica, plantas submetidas ao déficit hídrico que não receberam a aplicação foliar do regulador de crescimento apresentaram uma menor eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ PSII) em comparação às plantas nestas mesmas condições hídricas que receberam a aplicação do regulador.

Figura 12. Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre a eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ PSII) de plantas de soja.

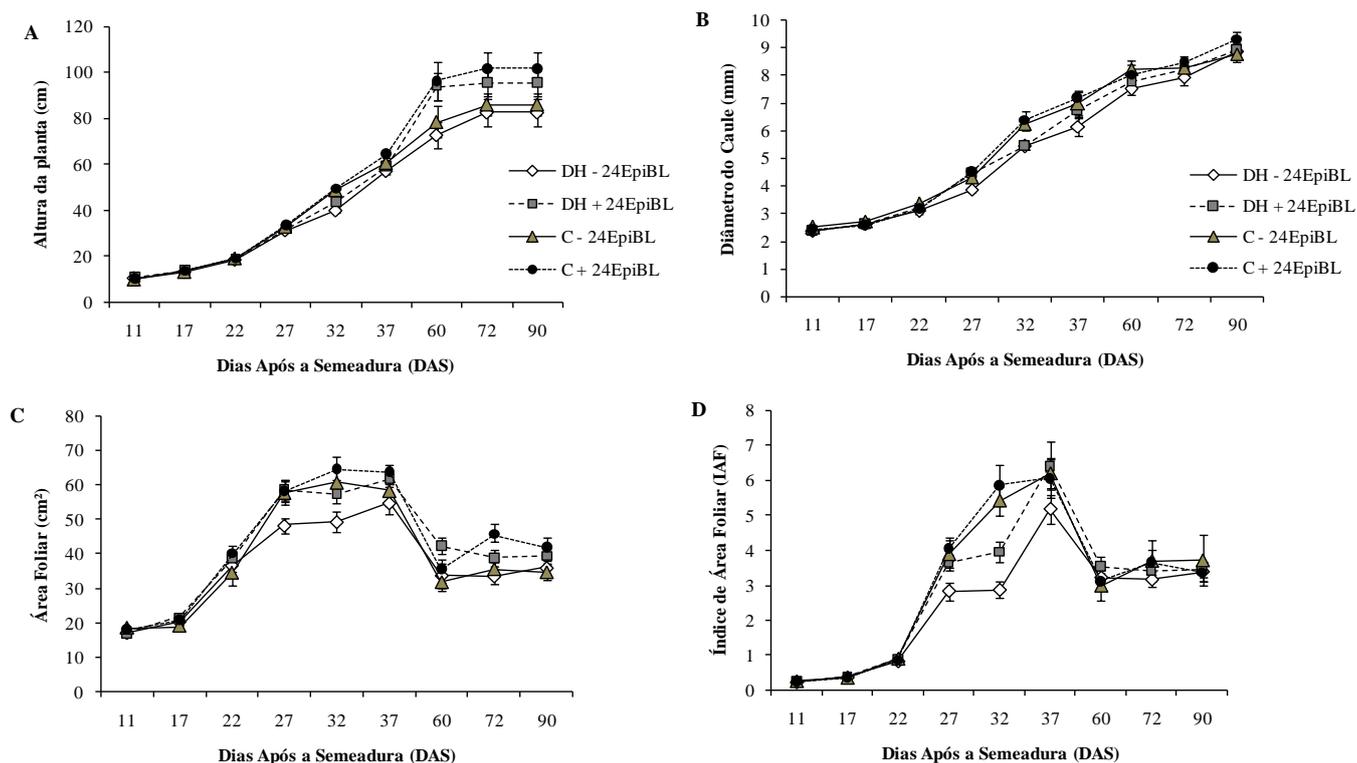


No estresse hídrico severo, plantas do tratamento “Déficit hídrico - 24-EpiBL” tiveram uma queda de 31,39% da sua eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ PSII), quando comparadas ao seu tratamento controle. Nesta mesma época, plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24-EpiBL” reduziram apenas 7,73% da sua eficiência quântica efetiva (Figura 12 A). Contudo, com a retomada da irrigação, todas as plantas recuperaram suas eficiências quânticas efetivas do fotossistema II.

5.4. Atributos morfológicos da soja

De um modo geral, a deficiência hídrica promoveu alterações nos atributos morfológicos da soja (Figura 13).

Figura 13. Influência do 24-epibrassinólídeo e do déficit hídrico sobre a altura (A), diâmetro do caule (B), área foliar (C) e Índice de Área Foliar (D) de plantas de soja.



Na variável altura de plantas, inicialmente não foram verificadas diferenças entre os tratamentos (Figura 13 A). Porém, aos 32 DAS, no período de estresse hídrico severo, as plantas dos tratamentos “Controle + 24EpiBL” e “Controle - 24EpiBL”, apresentaram valores médios de altura de 49,83 e 48,93 cm, respectivamente, enquanto

que as plantas dos tratamentos “Déficit Hídrico + 24EpiBL” e “Déficit Hídrico - 24EpiBL” apresentaram alturas médias de 43,67 e 40,07 cm. Entretanto, a partir dos 37 DAS, as plantas pulverizadas com o biorregulador 24-epibrassinolídeo começaram a se desenvolver mais, tendo maiores médias de altura ao final do ciclo da cultura (90 DAS), com 102,10 cm para plantas “Controle” e 95,60 cm para plantas do “Déficit Hídrico”, enquanto que as plantas não pulverizadas com o biorregulador apresentaram alturas médias de 86,20 e 82,70 cm para plantas “Controle” e do “Déficit hídrico”, respectivamente.

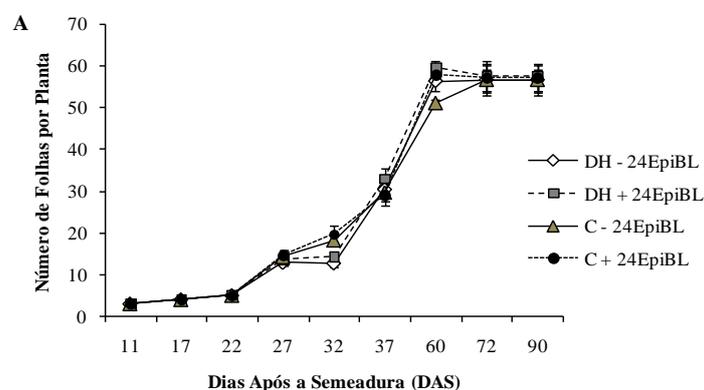
O Diâmetro do caule de plantas de soja foi semelhante em todos os tratamentos até o 27º dia após a semeadura (Figura 13 B). No período de estresse hídrico severo, aos 32 DAS, plantas de soja irrigadas tiveram maiores diâmetros do que as plantas sob déficit hídrico, quando as primeiras apresentaram valores de 6,42 mm (“Controle + 24EpiBL”) e 6,24 mm (“Controle - 24EpiBL”), enquanto que as plantas estressadas tiveram os mesmos diâmetros com 5,44 mm. Aos 37 DAS, após a reidratação, o tratamento “Déficit Hídrico + 24EpiBL” apresentou um diâmetro de 6,73 mm, valor mais próximo ao dos tratamentos irrigados, que tiveram 7,17 (“Controle + 24EpiBL”) e 7,01 mm (“Controle - 24EpiBL”), neste mesmo período o tratamento “Déficit Hídrico - 24EpiBL” apresentou um diâmetro de 6,15 mm. Aos 90 DAS, quando o diâmetro caulinar das plantas de soja parou de se desenvolver, os tratamentos pulverizados com 24-epibrassinolídeo apresentaram médias de 9,33 mm para “Controle + 24EpiBL” e 8,93 mm para “Déficit Hídrico + 24EpiBL”, enquanto que os tratamentos não pulverizados “Controle - 24EpiBL” e “Déficit Hídrico - 24EpiBL” tiveram 8,78 e 8,85 mm de diâmetro, respectivamente.

Plantas do tratamento “Déficit hídrico – 24EpiBL” apresentaram menores valores de Área Foliar e de Índice de Área Foliar (IAF) entre os dias 27 e 37 após a semeadura (DAS), com médias de área foliar entre 48,17 e 54,71 cm² e IAF entre 2,83 e 5,17 nesse intervalo (Figuras 13C e D). Em contrapartida, plantas sob Déficit hídrico + 24EpiBL apresentaram valores de área foliar entre 58,37 e 61,72 cm² e de IAF entre 3,45 e 6,41 nesse mesmo período, sendo portanto valores mais próximos aos das plantas irrigadas. Maiores valores de área foliar e IAF durante o estresse hídrico foram verificados no tratamento Controle + 24EpiBL.

O número de folhas por planta foi semelhante para os tratamentos em praticamente todos o período experimental (Figura 14). Entretanto, no período de estresse hídrico severo (32 DAS), observaram-se médias de folhas ligeiramente

inferiores em plantas expostas ao estresse hídrico, quando as plantas do tratamento “Déficit hídrico – 24EpiBL” apresentaram média de 12,75 folhas e plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24EpiBL” apresentaram média de 14,25 folhas por planta. Já em plantas irrigadas, essa média foi de 19,75 para o tratamento “Controle + 24EpiBL” e de 18,25 para o tratamento “Controle - 24EpiBL”. Aos 90 DAS, a média para todos os tratamentos foi de 57 folhas por planta.

Figura 14. Influência do 24-epibrassinolídeo e do déficit hídrico sobre o número de folhas por plantas de soja.



5.5. Componentes de produção da soja

De acordo com a ANAVA (Tabela 6), não houve efeito significativo dos fatores estudados no número de vagens por planta (NVP). Entretanto, nas demais variáveis avaliadas, observaram-se efeitos significativos da interação 24-Epibrassinolídeo x regime hídrico (24-EpiBL x RH), indicando que o número de grãos abortados (NGA), o peso de mil grãos (PMG), o peso de grão produzidos por planta (PGPP), o tamanho dos grãos (TG) e o diâmetro dos grãos (DG) foram influenciados pela interação destes fatores.

Tabela 6. Resumo da Análise de variância dos componentes de produção da soja.

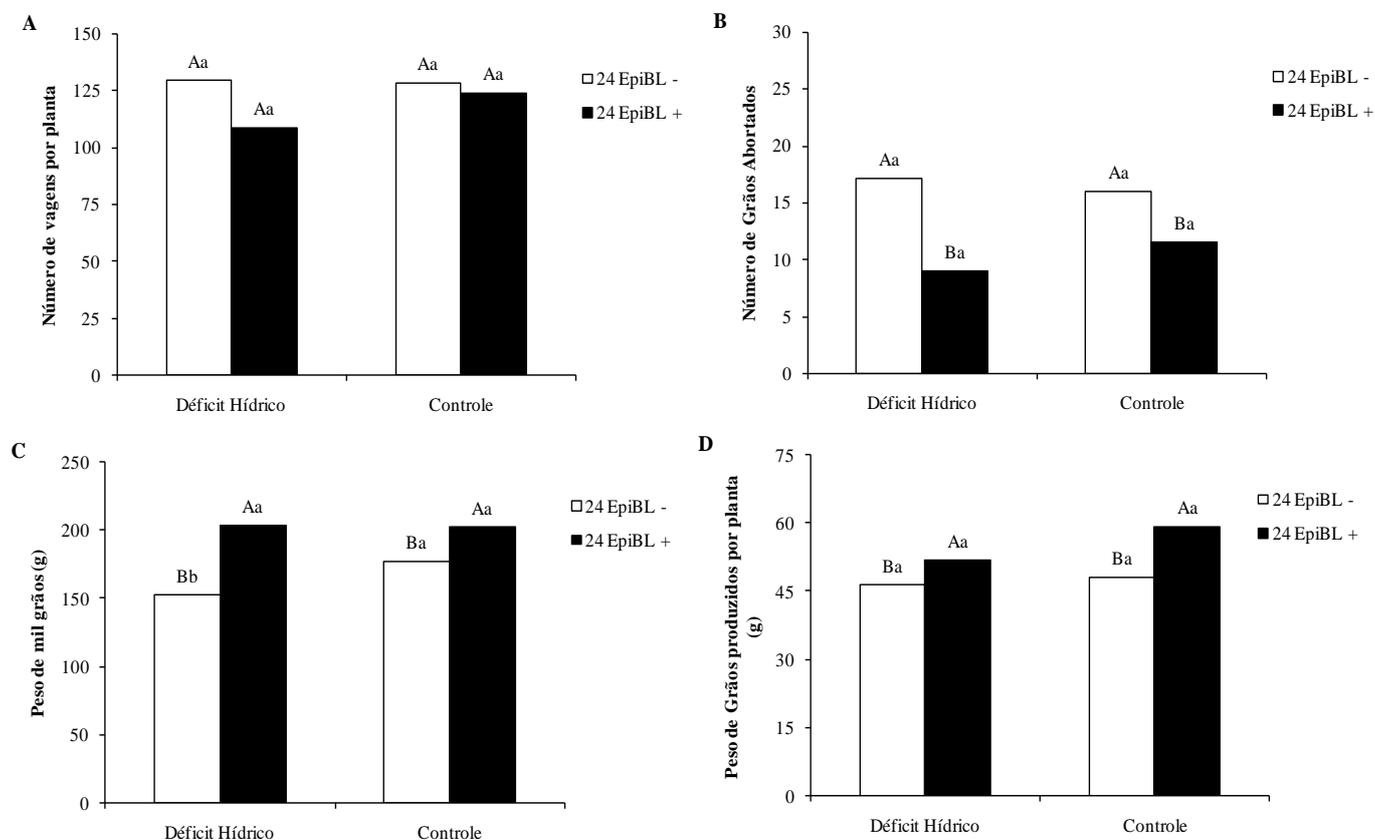
Fontes de Variação	G.L.	NVP	NGA	F Calculado			
				PMG	PGPP	TG	DG
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	4,469 ns	157,257 ***	46,35 ***	73,249 ***	317,133 ***	219,898 ***
Regime Hídrico (RH)	1	1,43 ns	1,812 ns	4,24 ns	22,237 **	6,116 *	6,790 *
24-EpiBL x RH	1	1,93 ns	13,056 **	5,477 *	8,43 **	7,115 *	7,155 *
CV (%)		12,75	9,95	9,2	5,34	2,09	3,27

G L. = Graus de Liberdade; NVP= Número de Grãos por Planta; NGA= Número de Grãos Abortados; PMG= Peso de Mil Grãos; PGPP= Peso de Grãos Por Planta; TG= Tamanho dos Grãos; DG= Diâmetro dos Grãos; CV (%) = Coeficiente de Variação. ns= não significativo; *, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Na tabela 6 também foi mostrado que o CV% variou entre 2,09 e 12,75%, que a precisão experimental para esses parâmetros variou de ótima (<10%) para boa (entre 10 e 15%).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o número de vagens por planta, entretanto, plantas do tratamento “Déficit hídrico - 24 EpiBL” apresentaram um aumento de 90,44% do número de grãos abortados em relação às plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24 EpiBL”, com aproximadamente 17 grãos abortados por planta, enquanto esse último tratamento apresentou em média 9 grãos abortados por planta de soja. Além disso, o peso de mil grãos foi maior em plantas do tratamento “Déficit hídrico + 24 EpiBL”, que apresentaram cerca de 204 g a cada mil grãos de soja, o que representa um aumento de 33,88% , já que as plantas do “Déficit hídrico - 24 EpiBL” apresentaram cerca de 153 g a cada mil grãos de soja.

Figura 15. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-epibrassinolídeo x regime hídrico (RH) do Número de vagens por planta (A), número de grãos abortados (B), peso de mil grãos (C) e números de grãos produzidos por plantas de soja.

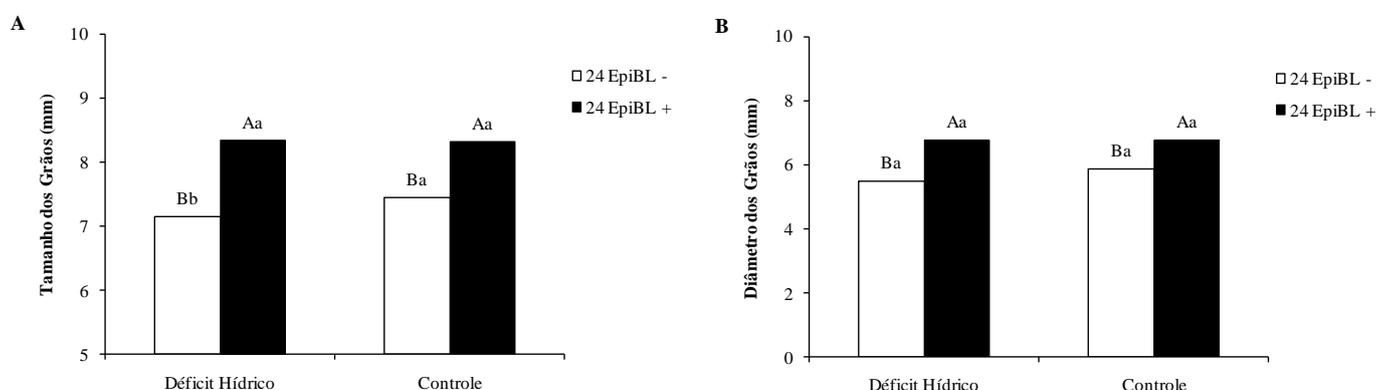


*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito do brassinosteróide dentro de cada regime hídrico e letras minúsculas iguais entre regimes hídricos dentro do brassinosteróide não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O Peso de Grãos por planta de soja também foi maior em plantas sob déficit hídrico pulverizadas com o 24-epibrassinolídeo, quando essas apresentaram cerca de 52 g, representando um aumento de 12% em comparação às plantas não pulverizadas com o regulador e submetidas a déficit hídrico, que tiveram apenas 46g.

Observaram-se também diferenças significativas entre o tamanho e o diâmetro dos grãos de soja tratadas com o 24-epibrassinolídeo, em que plantas do tratamento “Déficit hídrico +24 EpiBL” apresentaram grãos de tamanhos e diâmetros 16,64% e 22,9% maiores que as plantas do tratamento “Déficit hídrico -24 EpiBL” (Figura 16).

Figura 16. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-epibrassinolídeo x regime hídrico (RH) do tamanho (A) e o diâmetro (B) dos grãos de soja.



*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito do brassinosteróide dentro de cada regime hídrico e letras minúsculas iguais entre regimes hídricos dentro do brassinosteróide não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Dos parâmetros avaliados na tabela da ANAVA abaixo (tabela 7), somente a Matéria Seca da Folha não apresentou interação significativa entre 24-EpiBL x RH. Entretanto, para esse parâmetro, houve diferenças estatísticas significativas para os fatores 24-EpiBL e Regime Hídrico de maneira isolada.

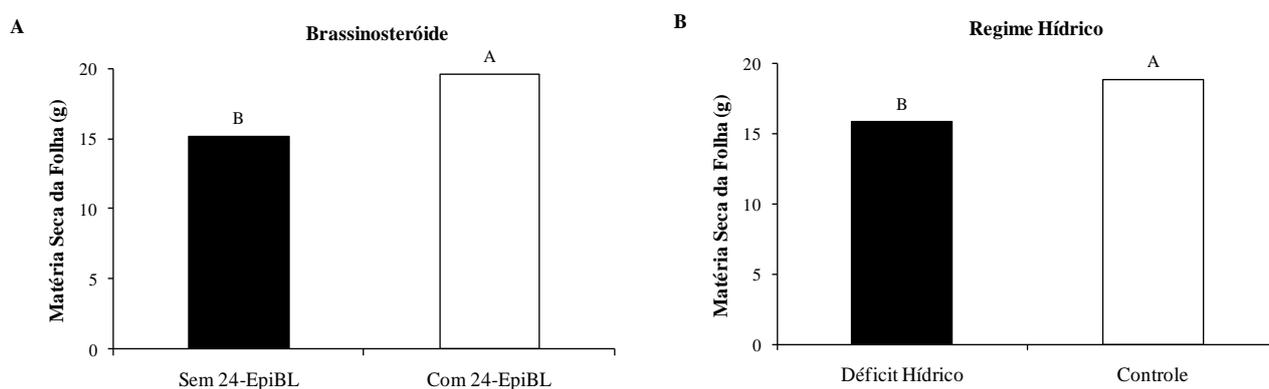
Tabela 7. Resumo da Análise de variância da biomassa das plantas de soja.

Fontes de Variação	G.L.	F Calculado			
		MSC	MSF	MSR	MST
24-Epibrassinolídeo (24-EpiBL)	1	59,279 ***	16,63 ***	115,116 ***	19,503 ***
Regime Hídrico (RH)	1	7,841 *	7,815 *	16,155 ***	10,784 ***
24-EpiBL x RH	1	4,727 *	3,903 ns	4,764 *	4,604 *
CV (%)		8,62	17,58	9,74	11,3

G L. = Graus de Liberdade; MSC= Matéria Seca do Caule; MSF= Matéria Seca das Folhas; MSR= Matéria Seca das Raízes; MST= Matéria Seca Total; CV (%) = Coeficiente de Variação. ns: não significativo; *, ** e *** significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Desse modo, observando-se médias dos fatores isolados brassinosteróide e regime hídrico para a matéria seca das folhas (Figura 17), foram constatados que tanto a aplicação foliar do 24-EpiBL como a irrigação influenciaram positivamente os tratamentos avaliados, em que a MSF foi maior em 22% nas plantas com aplicação do 24-EpiBL em relação as sem a aplicação, e 16% no controle em comparação ao déficit hídrico.

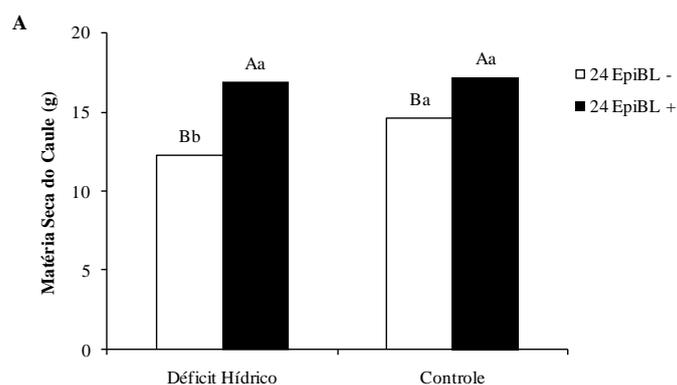
Figura 17. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à matéria seca da folha dos fatores isolados brassinosteróide e regime hídrico das plantas de soja.

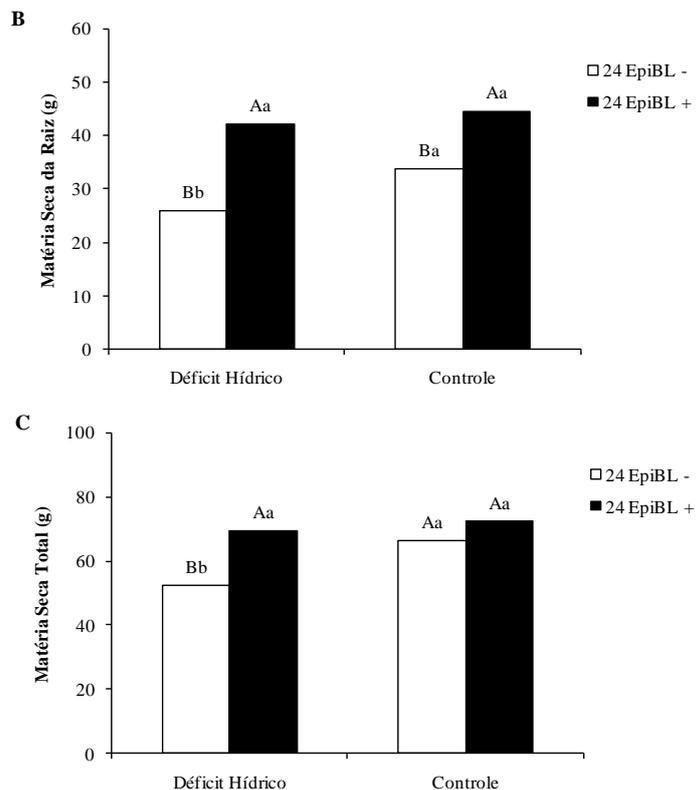


*Médias seguidas de letras diferentes representam diferenças estatísticas significativas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os fatores isolados brassinosteróide e regime Hídrico.

Como mostrado na tabela 7, os parâmetros de matéria seca do caule, matéria seca das raízes e matéria seca total apresentaram interações significativas entre 24-EpiBL x RH. Desse modo, aplicou-se o Teste de Tukey para a comparação dessas médias, conforme descrito na figura 18.

Figura 18. Teste de Tukey aplicado para comparação das médias referentes à interação 24-EpiBL x Regime Hídrico (RH) da matéria seca do caule (A), da raiz (B) e a matéria seca total (C) das plantas de soja.





*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito do brassinosteróide dentro de cada regime hídrico e letras minúsculas iguais entre regimes hídricos dentro do brassinosteróide não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O estresse hídrico levou à redução da matéria seca em plantas de soja do tratamento “Déficit Hídrico - 24 EpiBL” (Figura 18). As plantas desse tratamento apresentaram reduções de 15,79 , 29, 23,17 e 10,72% nos parâmetros de matéria seca do caule, da raiz e matéria seca total, respectivamente, quando comparadas ao seu controle (Figuras 17 A, B e C). Estas reduções causadas pelo estresse hídrico não foram observadas em plantas do tratamento “Déficit Hídrico + 24 EpiBL” quando comparadas ao seu controle, visto que não foram observadas diferenças estatísticas no Teste de Tukey.

6. DISCUSSÃO

O déficit hídrico foi o responsável por diversas alterações fisiológicas causadas nas plantas de soja desse presente trabalho. Dentre as principais características afetadas pelo Déficit hídrico na soja cita-se a fotossíntese (A), o funcionamento dos estômatos (gs), a temperatura foliar, a transpiração (E), a eficiência do uso da água (EUA), a concentração interna de carbono (Ci), o déficit pressão de vapor (folha-ar), dentre outros atributos fisiológicos que também foram relatados por Hopkins e Hhüner (2009); Manavalan et al.(2009) e Machado-Júnior (2015) em seus estudos.

Segundo Hopkins e Hhüner (2009), o DH afeta a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, restringindo o suprimento de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) como também pelos efeitos deletérios causados aos fotossistemas. Outras respostas fisiológicas ao DH incluem a diminuição da atividade da enzima Rubisco (FLEXAS et al., 2006), a sinalização molecular que leva ao fechamento estomático e repressão do crescimento celular e ativação da respiração (ISHIBASHI et al., 2011).

No presente estudo, plantas de soja sofreram significativamente com o DH, mas a aplicação foliar do Brassinosteróide (24-Epibrassinolídeo) também aliviou significativamente estes atributos fisiológicos, tanto em plantas sob estresse hídrico quanto em plantas do tratamento controle (irrigado). Yu et al. (2004) relataram que o Brassinosteróide aumenta a eficiência da Rubisco, que é a enzima responsável pela carboxilação de CO₂ durante o processo de fotossíntese. Zhang et al. (2008) também observaram que a aplicação de BR antes do início do estresse hídrico melhorou a fotossíntese foliar e o teor de clorofila da soja durante o período de estresse hídrico. Iwahari et al. (1990) também mostrou que o aumento na taxa de fotossíntese por planta pode ser atribuído aos aumentos observados no conteúdo de clorofila e maior área foliar em plantas tratadas com BR. Um aumento semelhante na fotossíntese devido à aplicação de BRs também foi observado em trigo, tomate e pepino em condições normais e de estresse ambiental (OGWENO et al., 2008; SHAHBAZ et al., 2008; XIA et al., 2009).

Conforme Zhang et al. (2016) e Pereira (2017), a redução na disponibilidade de água, provoca alterações nas folhas de soja afetando o desempenho fotossintético, causando redução na taxa fotossintética, condutância estomática e na transpiração das plantas com deficiência hídrica, e esse comportamento se deve ao fato desses processos estarem intimamente ligados. Ainda segundo Pereira (2017), a diminuição da

condutância estomática durante a restrição hídrica reduz a perda de água por transpiração ocasionando aumento na temperatura foliar. Li et. al. (2004) relataram que o aumento da Temperatura Foliar pode reduzir a taxa de assimilação de CO₂ por danos fotoinibitórios ao aparato fotossintético. Sendo assim, a transpiração é de suma importância, uma vez que, através dela as plantas perdem calor e mantêm os níveis térmicos ótimos para o metabolismo (TAIZ & ZEIGER, 2006; PEREIRA, 2017). As discussões acima justificam as respostas das plantas de soja do presente experimento, pois essas plantas, quando expostas ao déficit hídrico apresentaram comportamentos semelhantes. Porém, a aplicação foliar do 24-epibrassinolídeo aparentemente aliviou o efeito do estresse sobre boa parte desses atributos fisiológicos.

Segundo Acharya e Assmann (2009), normalmente é o Ácido Abiscísico (ABA) que desempenha um papel essencial na limitação das aberturas estomáticas sob condições de estresse hídrico. O ABA reduz a perda de água por transpiração promovendo o fechamento estomático e inibindo a abertura estomática por múltiplas cascatas de eventos celulares-bioquímicos. Porém, foi noticiado que os BRs também desempenham um papel sobre a *gs* (YUAN et. al. 2010). O tratamento exógeno de BRs aumentou os *gs* em *Brassica juncea* (HAYAT et al., 2000) e *Robinia pseudoacacia* (LI et al., 2008). Haubrick et al. (2006) relataram que o brassinolídeo regulou a abertura do estômato em *Vicia faba*, promovendo o fechamento do estômato e inibindo a sua abertura. Yuan et. al. (2010) relataram que a aplicação do BR diminuiu significativamente a *gs* das plântulas de tomate durante o estresse hídrico. Como acima mencionado, os níveis de ABA podem ter sido elevados pelo tratamento com o BR, isto sugere que os BRs podem funcionar em conjunto com o ABA para regular a *gs*. No presente estudo, a abertura estomática foi menor em plantas submetidas ao déficit hídrico e pulverizadas com o 24-epibrassinolídeo em determinados períodos de deficiência hídrica, como nos dias 28 e 30 DAS, o que corrobora com os resultados encontrados nos demais estudos. Lima e Lobato (2017) encontraram que E e *gs* foram significativamente reduzidas em plantas de *Vigna unguiculata* submetidas ao déficit hídrico, entretanto a aplicação exógena de 100 nM de BR causou aumentos de 24 e 33% nestes atributos, respectivamente.

Segundo Yu et. al. (2004) a diminuição da Concentração interna de CO₂ (C_i) em plantas submetidas ao déficit hídrico se deve ao fato de que o brassinosteróide aumenta a eficiência de Rubisco, enzima responsável pela carboxilação de CO₂ durante o processo de fotossíntese. Então, essas plantas se tornam mais eficientes na fixação do

Carbono, diminuindo sua concentração interna. O decréscimo de Ci em plantas submetidas à aplicação de BR, também foi encontrado por Xia et al. (2009), no estudo dos papéis do BR e brassinazole na síntese e ativação de enzimas do aparelho fotossintético de plantas de *Cucumis sativus* (PEREIRA, 2019).

Neste presente estudo, a Eficiência instantânea do uso da água e a eficiência intrínseca do uso da água das plantas de soja foram aumentadas com a aplicação foliar do 24-epibrassinolídeo. A Eficiência do uso da água (EUA) pode aumentar na fase vegetativa da soja quando a disponibilidade hídrica diminui (NEYSHABOURI & HATFIELD, 1986; YU et al., 2004; LIU et al., 2005), e também pode aumentar quando a concentração de CO₂ atmosférico for elevada (MADHU; HATFIELD, 2014). Para Pereira et. al. (2019), o aumento de EUA em plantas de *Glycine max* submetidas ao déficit hídrico + BR está relacionada aos aumentos na taxa fotossintética líquida. Fariduddin et al. (2009) investigando o efeito da aplicação de 0,01 µM de 28-homobrassinolideo sobre as trocas gasosas e o sistema antioxidante de plantas de *Brassica juncea* submetidas a déficit hídrico obtiveram aumento de 53% na EUA, quando comparadas com plantas não pulverizadas.

A determinação do Conteúdo Relativo de Água (CRA%) é empregada em estudos de adaptação de plantas à seca (JONES, 2007; PEREIRA, 2017). Fioreze et al. (2011) estudaram o comportamento de cultivares de soja submetidos à restrição hídrica intensa e também constataram que o CRA de todos os genótipos submetidos ao déficit hídrico intenso reduziu em relação aos grupos que foram bem irrigados.

Os hormônios vegetais, tais como os BRs e o ABA, desempenham papéis importantes ao conferirem tolerância à estresses ambientais, tais como a seca. No presente trabalho, foi observado que os tratamentos com o 24-epibrassinolídeo podem reduzir a perda de água e amenizar o estresse hídrico em plantas de soja por apresentarem maiores valores de CRA% nessas condições. Resultados semelhantes sobre o Conteúdo Relativo de Água foram encontrados por Yuan et al. (2010), em seus trabalhos sobre o Efeito dos brassinosteroides na resistência à seca e concentração de ácido abscísico em tomates sob estresse hídrico.

No período de estresse hídrico severo, a aplicação foliar do 24-epibrassinolídeo promoveu melhorias no potencial hídrico às 4h00 e às 12h00 em plantas sob déficit hídrico, sugerindo que as folhas tratadas com BRs perdem menos água sob déficit hídrico (SASSE, 2003) e que os brassinosteróides promoveram um melhor ajuste osmótico (CHAVES & SERAPHIN, 2001). Esse mecanismo é fundamental para que as

plantas concluíam processos importantes como a manutenção de turgescência e regulação da abertura estomática em condições de baixa disponibilidade hídrica (SILVEIRA et al. 2009). Zhang et al. (2008) estudaram a exposição de *Glycine max* ao déficit hídrico e observaram que a aplicação de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ do brassinolideo promoveu um aumento de 21% no ΨW quando comparado às plantas em condições hídricas iguais sem a adição do BR.

A maioria dos estudos sobre a aplicação exógena foliar dos brassinosteróides indica um aumento na produção de clorofilas e de outros pigmentos fotossintéticos em plantas que receberam a aplicação desse regulador de crescimento, como visto nos trabalhos de Iwahari et al. (1990) e Zhang et al. (2008), por exemplo. Embora nesse experimento não se tenha encontrado isso, pois foi observado que, aos 28 DAS, as plantas que receberam esse tratamento produziram menos clorofilas e carotenóides, pode-se dizer que, com o agravamento do estresse hídrico aos 32 DAS, essas plantas perderam menos clorofilas totais e carotenóides que as plantas que não receberam a aplicação do regulador. Além disso, na reidratação dessas plantas, a recuperação do conteúdo de clorofilas totais e carotenóides foi maior em plantas aplicadas com o 24-EpiBL. Isso pode ser um importante indicativo de que o 24-EpiBL pode regular a produção de clorofilas e demais pigmentos fotossintéticos em plantas de soja irrigadas e expostas ao déficit hídrico.

Com relação à fluorescência da clorofila, esta é um reflexo sutil das reações primárias da fotossíntese. Ela tem sido amplamente utilizada na descrição do mecanismo de fotossíntese e da atividade fotossintética sob estresse ambiental, conforme relataram Sayed (2003) e Wang et al. (2015). Além disso, o valor da eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) serve como uma medida do estado funcional do complexo de evolução do oxigênio e é geralmente usada como um indicador sensível para avaliar o desempenho fotossintético da planta, e uma diminuição de F_v/F_m indicaria a extensão da fotoinibição causada por tais estresses ambientais, como o déficit hídrico (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

Os resultados deste trabalho evidenciam que os tratamentos pulverizados com o 24-Epibrassinolideo mostraram aumento significativo da eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) tanto em plantas irrigadas como em plantas expostas ao estresse hídrico. O rendimento quântico fotoquímico efetivo de PSII (Φ_{PSII}) também foi maior em plantas pulverizadas com o regulador de crescimento na condição de estresse hídrico em comparação com as não pulverizadas. Resultados semelhantes ao

deste trabalho foram encontrados por Wang et al. (2015) em seus estudos sobre a aplicação exógena do 24-Epibrassinolídeo em plântulas de videira expostas ao estresse hídrico.

Outros pesquisadores, como Zhang et al. (2008), relataram em seus estudos que Fv/Fm em plantas de soja do tratamento controle e do tratamento com BR foram similares quando bem regadas. Mas sob condições de déficit hídrico, Fv/Fm da soja tratada com BR foi significativamente maior do que o nas plantas do tratamento controle, resultados semelhantes aos que foram encontrados nesse presente trabalho. Pereira et al. (2019) também relataram que plantas de soja expostas ao tratamento “déficit hídrico + EBR” mostraram aumentos de Fv/Fm confirmando que o aumento de Fv/Fm em plantas tratadas com EBR atenua os danos fotoinibitórios promovidos pelo déficit hídrico nos centros de reações do PSII (TUKAJ et al., 2007). Wang et al. (2015) estudando *Vitis vinifera* tratada com EBR e submetida ao déficit hídrico e também relataram que a aplicação exógena do EBR promoveu um aumento de Fv/Fm.

Dumas et al. (2016); Rivero et al. (2010) e Tikhonov (2013) relataram que plantas pulverizadas com o EBR tiveram incrementos nos valores do rendimento quântico fotoquímico efetivo de PSII (Φ PSII), dentre outros parâmetros, e que estes resultados são relacionados às interferências benéficas do EBR sobre Fv/Fm. Esse efeito está atribuído a maior dissipação da fluorescência pelas moléculas de clorofilas, resultante do fluxo de energia da excitação dos elétrons aceitos pela plastoquinona para o transporte entre PSII e PSI e, portanto, maior geração de ATP e NADPH.

Li et al. (2012) também relataram que, em comparação com mudas bem irrigadas, Fv/Fm e Φ PSII diminuíram notavelmente quando a *Chorispora bungeana* foi exposta a estresse hídrico por 3 dias, mostrando claramente que o estresse hídrico causou um prejuízo considerável nos aparelhos fotossintéticos. Resultados similares foram relatados por Cai et al. (2010) em *Incarvillea delavayi*. No entanto, o pré-tratamento com EBR reduziu as diminuições em Fv/Fm e Φ PSII nas plantas do tratamento déficit hídrico, o que indica que a aplicação exógena de EBR foi capaz de aliviar a fotoinibição provocada pelo estresse hídrico e tinha um forte efeito de proteção sobre a estrutura e a função do complexo oxigenador do PSII nestas folhas. Da mesma forma, Xia et al. (2009) descobriram que a EBR exógena evita o estresse por baixas temperaturas causadas pela fotoinibição em pepino.

O déficit hídrico também causou alterações nos atributos morfológicos e nos componentes de produção das plantas de soja, em que no presente experimento, plantas

submetidas ao déficit hídrico tiveram reduções no seu crescimento, diâmetro do caule, área foliar, índice de área foliar, matérias secas totais, das folhas, raízes e caules, bem como no tamanho, diâmetro e peso dos grãos. Contudo, plantas que receberam a aplicação foliar do brassinosteróide apresentaram melhorias nesses atributos.

Segundo Jaleel et al. (2009) e Machado-Júnior (2015), em plantas de soja sob déficit hídrico, o caule não se desenvolve, podendo causar o abortamento de flores e de vagens, mas a maior consequência é a redução do crescimento das folhas, o que leva a um menor índice de área foliar, resultando em perdas na biomassa e em menor número de vagens por planta. Mathobo et al. (2017) também relataram que o estresse hídrico em todos os níveis analisados resultou em uma redução na matéria seca, no índice de área foliar, no número de sementes por planta, no número de vagens por planta, no tamanho das sementes além da diminuição no rendimento dos grãos (PEREIRA, 2017).

Os brassinosteróides são fitormônios envolvidos em vários aspectos do crescimento e desenvolvimento vegetal, tais como divisão e expansão celular, diferenciação vascular, fotomorfogênese, crescimento de raiz, resposta à luz, resistência ao estresse e senescência (KIM & WANG, 2010). Os brassinosteróides demonstraram aumentar a produtividade e a tolerância ao estresse (SASSE, 2003). Zhang et al. (2008) relataram que plantas de soja sob déficit hídrico tratadas com BR apresentaram maior biomassa e produtividade de sementes do que as plantas sob déficit hídrico não tratadas com BR. Kamal et al. (1995) relataram que o aumento do rendimento induzido pelo tratamento com epibrassinolideo nos estágios de floração da soja foi principalmente devido a um aumento no número de sementes e vagens através de um aumento no número de nós férteis e no número de vagens por nódulo fértil. O tamanho da semente era principalmente regulado através de uma redução do comprimento da vagem devido à deficiência de brassinosteróides no feijão Fava (*Vicia faba*) (FUKUTA et al. 2006).

Silva (2017) verificou que o epibrassinolideo influenciou positivamente a massa seca do caule e da raiz de mamoeiro, assim como ocorreu nas plantas de soja do presente estudo. Freitas et al. (2012) relataram o aumento da matéria seca da parte aérea do abacaxizeiro em função do 24-epibrassinolideo na concentração de 1,0 mg L⁻¹. Da mesma forma, Larré et al. (2014) afirmam que o acúmulo de massa seca na parte aérea e radicular foi alterado positivamente pela aplicação do 24-epibrassinolideo na cultura do arroz.

7. CONCLUSÕES

A aplicação foliar do 24-Epibrassinolídeo, na fase vegetativa, alivia os efeitos prejudiciais do déficit hídrico nas trocas gasosas, melhora o *status* hídrico foliar, bem como auxilia na manutenção dos pigmentos fotossintéticos, reduzindo os danos causados ao aparato fotossintético de plantas de soja sob déficit hídrico. Além disso, após a reidratação das plantas, o 24-Epibrassinolídeo melhora o crescimento, o desenvolvimento e conseqüentemente a produtividade da cultura da soja.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULKHANI A., ALIZADEH P., HEDJAZI S. et al.: Potential of Soya as a raw material for a whole crop biorefinery. – **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v.75, p. 1269-1280, 2017.
- ACHARYA, B.R., ASSMANN, S.M. Hormone interactions in stomatal function. **Plant Molecular Biology**, v. 69, p. 451–462, 2009.
- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L. E.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.4, p.865- 873, 2008.
- ALI, B. Aplicações práticas de brassinosteróides na horticultura - algumas perspectivas de campo. **Scientia horticultrae**, v. 225, p. 15-21, 2017.
- ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; AND ZOU, C. M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177–185, 2011.
- ANURADHA, S.; RAO, S. S. R. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Growth Regulation**, v.33, p. 151-153, 2001.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.
- BAMJI S.F., CORBITT C.: Glyceollins: Soybean phytoalexins that exhibit a wide range of health-promoting effects. – **Journal of Functional Foods**, v.34, p. 98-105, 2017.
- BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. **Plant physiology and biochemistry**, v. 47, n. 1, p. 1-8, 2009.
- BAJGUZ, ANDRZEJ; PIOTROWSKA-NICZYPORUK, Alicja. Synergistic effect of auxins and brassinosteroids on the growth and regulation of metabolite content in the green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). **Plant physiology and biochemistry**, v. 71, p. 290-297, 2013.
- BARROS, J. M. T. M. Fungos micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico. 30 f. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo, 2018.

- BOEREMA, A. et al. Soybean Trade: Balancing Environmental and SocioEconomic Impacts of an Intercontinental Market. **Public Library of Science**, Iowa, v. 11, n. 5, p. 1-13, 2016.
- CAI, Y.F., ZHANG, S.B., HU, H., LI, S.Y.: Photosynthetic performance and acclimation of *Incarvillea delavayi* to water stress. - **Biologia Plantarum**, v.54, p. 89-96, 2010.
- CARVALHO, M.H.C. de. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant Signaling and Behavior**, v. 3, p. 156-165, 2008.
- CENTRITTO, M.; LAUTERI, M., MONTEVERDI, M. C.; SERRAJ, R. Leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, and grain yield in contrasting rice genotypes subjected to water deficits during the reproductive stage. **Journal Of Experimental Botany**, [s.l.], v. 60, n. 8, p.2325-2339, 2009.
- CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (Org.). Advances in selected plant physiology aspects. **Rijeka: Intech**, v.1, p.105-132, 2012.
- CHAVES, F.J.T.; SERAPHIN, S.E.: [Change in osmotic potential and soluble carbohydrates levels in *Solanum lycocarpum* St.-Hil. in response to water stress]. – **Revista Brasileira de Botânica**, 24: 199-204, 2001. [In Portuguese].
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Quinto levantamento (Safra 2018/2019), v. 4, n. 2, p. 111- 122, 2020.
- COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZANGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.
- COMSTOCK, J.P.; EHLERINGER, J.R. Correlating genetic variation in carbon isotopic composition with complex climatic gradients. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.89, p. 7747-7751, 1992.
- DAVIS, S.C.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.; COWIE, A.L.; GEORGE, B.H.; OGLE, S.M.; & VAN WIJK, M.T. Management swing potential for bioenergy crops. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 6, 2013.edição. p. 592, 2005.
- DOGAN, E.; KIRNAK, H. and COPUR, O.. Effect of seasonal water stress on soybean and site specific evaluation of CROPGRO-Soybean model under semi-arid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v.90, p. 56-62. 2007.
- DUMAS, L.; CHAZAUX, M.; PELTIER, G.; JOHNSON, X.; ALRIC, J. Cytochrome b6/f function and localization, phosphorylation state of thylakoid membrane proteins and consequences on cyclic electron flow. **Photosynthesis Research**, v. 129, n. 3, p. 307-320, 2016.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná - 1994/95. Cascavel, 140p. 1994.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dados econômicos da soja**. 2020. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 28 set. 2020.
- ERSHOVA, A.; KHRIPACH, V.. Effect of epibrassinolide on lipid peroxidation in *Pisum sativum* at normal aeration and under oxygen deficiency. Russ. **Journal of Plant Physiology**.v. 43, p.750–52, 1996.
- FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Circular técnica 48. Embrapa: Londrina. PR, 2007.
- FAROOQ M., WAHID A., KOBAYASHI N., FUJITA D., BASRA S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185-212, 2009.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; LEE, D. J.; CHEEMA, S. A.; AZIZ, T. Comparative time course action of the foliar applied glycine betaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**. v. 196, n. 5, p. 336-345. 2010.
- FAROOQ, M., M. HUSSAIN, and K. H. M. SIDDIQUE. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 33, p. 331–349, 2014.
- FAROOQ, M.; GOGOI, N.; BARTHAKUR, S.; BAROOWA, B.; BHARADWAJ, N.; ALGHAMDI, S. S. and SIDDIQUE, K. H. M.. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. **Journal of Agronomy and Crop Science**, p. 1-23, 2016.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 6, 269-279, 2004.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H.; Decrease Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, Lancaster, v.172, n.1, p.73-82, 2006.
- FARIDUDDIN, Q. et al. Effect of 28-homobrassinolide on the drought stress-induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* l. **Acta physiologiae plantarum**. v.31, p. 889-897, 2009.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11 p., 1977.

- FIGLIANO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R. and GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, p. 342-349, 2011.
- FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.7, n.12; p.1-12, 2011.
- FREITAS, S. J.; SANTOS, P. C.; CARVALHO, A. J. C.; BERILLI, S. S.; GOMES, M. M. A. Brassinosteróide e adubação nitrogenada no crescimento e estado nutricional de mudas de abacaxizeiro provenientes do seccionamento de caule. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 612-618, 2012.
- FRIDMAN, Y.; SAVALDI-GOLDSTEIN, S.. Brassinosteroids in growth control: how, when and where. **Plant science**, v. 209, p. 24-31, 2013.
- FUJIOKA, S.; CHOI, Y.H.; TAKATSUTO, S.; YOKOTA, T.; CHORY, J.; SAKURAI, A.. Identification of castasterone, 6-deoxocastasterone, typhasterol and 6-deoxytyphasterol from the shoots of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Cell Physiology**. v. 37, p.1201-1203, 1996.
- FUJIOKA, S.; YOKOTA, T.. Biosynthesis and metabolism of brassinosteroid. **Annual Review of Plant Biology**. v. 54, p.137-164, 2003.
- FUKUTA, N.; FUKUZONO, K.; KAWAIDE, H.; ABE, H.; NAKAYAMA, M.. Physical restriction of pods causes seed size reduction of a brassinosteroid-deficient Faba Bean (*Vicia faba*). **Annals of Botany (London)**, v. 97, p.65–69, 2006.
- GALMÉS, J.; RIBAS-CARBO, M.; MEDRANO, H.L.; FLEXAS, J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.2, p. 653-665, 2011.
- GALÃO, O. F. et al. Differences of fatty acid composition in Brazilian genetic and conventional soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) grown in different regions. **Food research international**, v. 62, p. 589-594, 2014.
- GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINE, E. D. Aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio em mudas de eucalipto submetidas à deficiência hídrica. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 273-285, 2015.
- GROVE, M.D.; SPENCER, G.F.; ROHWEDDER, W.K.; MANDAVA, N.; WORLEY, J.F.; Jr, J.D.W.; STEFFENS, G.L.; FLIPPEN-ANDERSON, J.L.; CARTER COOK, J.. Brassinolide, a plant growth-promoting esteroid isolated from *Brassica napus* pollen. **Nature**. v.281: p. 216-217, 1979.
- HAUBRICK, L.L., TORSETHAUGEN, G., ASSMANN, S.M. Effect of brassinolide, alone and in concert with abscisic acid, on control of stomatal aperture and potassium currents of *Vicia faba* guard cell protoplasts. **Physiologia Plantarum**, v. 128, p. 134–143, 2006.

- HAYAT, S., AHMAD, A., MOBIN, M., HUSSAIN, A., FARIDUDDIN, Q. Photosynthetic rate, growth, and yield of mustard plants sprayed with 28-homobrassinolide. **Photosynthetica**, v. 38, p. 469–471, 2000.
- HOPKINS, W. G.; HÜNER, P. A. N. **Plant physiology** - 4th Ed .p. 26-33 e 230. Wiley, 2009.
- HOSSAIN, M. M.; LIU, X.; QI, X.; LAN, H. M. and ZHANG, J.. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **The Crop Journal**. v.2, p. 366-380, 2014.
- IWAHARI, S., TOMINAGA, S., HIGUCHI, S. Retardation of abscission of citrus leaf and fruitlet explants by brassinolide. **Plant Growth Regulation**, v. 9, p. 119–125, 1990.
- ISHIBASHI, Y.; YAMAGUCHI, H.; YUASA, T.; INOUE, N.I.; ARIMA, S.; ZHENG, S.H.; Hydrogen peroxide spraying alleviates drought stress in soybean plants. **Journal of Plant Physiology**, Toronto, n.168, p.1562-1567, 2011.
- JAVID, M. G.; SOROOSHADEH, A.; MORADI, F.; SANAVY, S. A. M. M.; ALLAHDADI, I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. **Australian Journal of Crop Science**. 5: 726:734, 2011.
- JALEEL, C. A et al. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. **Colloids Surfaces B: Biointerfaces**, [s.l.], v. 61, n. 2, p.298-303, 2008.
- JALEEL, C. A; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INES, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; BO-HONG, S. AND PANNERERSELVAM, R..Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologiae Plantarum**. v. 31, p. 427-436, 2009.
- JONES, H. G. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 119-130, 2007.
- KAMAL, M.; TAKAHASHI, H.; MIKOSHIBA, H; OTA, Y.. Analysis of soybean yield components as affected by plant growth regulators applied at flowering stages. **Japanese Society for Tropical Agriculture**, v. 39, p. 184–189, 1995.
- KIM, T.W.; WANG, Z. Y. Transdução do sinal brassinoesteróide de receptores quinases para fatores de transcrição. **Revisão anual de biologia vegetal** , v. 61, p. 681-704, 2010.
- KHRIPACH, V.A.; ZHABINSKII, V.N.; GROOT, A.E. Brassinosteroids. A new class of plant hormones. **Academic Press**, San Diego, 455 p., 1999.

- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.
- KRISHNA, P. Brassinosteroid-mediated stress responses. **Journal of Plant Growth Regulation**. v.2, n. 22, p. 89–97, 2003.
- KRISHNAN, P.; RAVENDER, S.; VERMA, A. P. S.; JOSHI, D. K. AND SHEORAJ, S. Changes in seed water status as characterized by NMR in developing soybean seed grown under moisture stress conditions. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.444, p. 485-490, 2014.
- LARRÉ, C. F.; MARINI, P.; MORAES, C. L.; AMARANTE L.; MORAES, D. M. Influence of the 24-epibrassinolide on tolerance to salt stress in rice seedlings. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.
- LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v.103, p.561-579, 2009.
- LICHTENTHALER, H.K.; WELLBURN, A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v.11, p.591-592, 1983.
- LI, F., KANG, S. and ZHANG, J.. Interactive effects of elevated CO₂, nitrogen and drought on leaf area, stomatal conductance, and evapotranspiration of wheat. **Agricultural Water Management**, v.67, p. 221-233, 2004.
- LI, K.R., WANG, H.H., HAN, G., WANG, Q.J., FAN, J. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of Robinia pseudoacacia seedlings under water-stress. **New Forests**, v. 35, p.255–266, 2008.
- LI, Y.H.; LIU, Y.J.; XU, X.L.; JIN, M.; NA, L.Z. and ZHANG, H.. Effect of 24-epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*. **Biologia Plantarum**, v. 56 (1), p. 192-196, 2012.
- LILJENBERG, C. S. The effects of water déficit stress on plant membrane lipids. **Progress in Lipid Research**, Kanagawa, v. 31, n.3, p. 335-343, 1992.
- LIMA, J.V.; LOBATO A. K. S. Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water deficit. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.59-72, 2017.
- LIU, F.; ANDERSEN, M.N. JACOBEN, S. E.; JENSEN, C.R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive drying. **Enviromental and Experimental Botany**, Paris, n.54, p.33-40, 2005.
- LONGATTI, C. A. Efeito de brassinosteróide no crescimento, metabolismo e fixação de nitrogênio em plantas de *Cajanus cajan* noduladas e sob estresse salino. 64 f.

- Dissertação** (Mestrado em Biologia) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 2012.
- MACHADO-JÚNIOR, C. S. Déficit hídrico em tipos de crescimento da soja. 56 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2015.
- MADHU, M. HATFIELD, J.L. Interaction of Carbon dioxide Enrichment and Soil Moisture on Photosynthesis, Transpiration, and Water Use Efficiency of Soybean. **Agricultural Sciences**, Milan, n.5, p.410-429, 2014.
- MANDAVA, N.B.. Plant growth-promoting brassinosteroid. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** v. 39, p. 23-52, 1988.
- MANAVALAN, L.P.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.P.; NGUYEN, H.T. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.50, n.7, p. 1260-1276, 2009.
- MARINHO, J. P. et al. Characterization of Molecular and Physiological Responses Under Water Deficit of Genetically Modified Soybean Plants Overexpressing the AtAREB1 Transcription Factor. **Plant Molecular Biology Reporter**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.410-426, 2015.
- MASCARENHAS, H. A. A. et al. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. **O Agrônomo**, v.01, n. 57, 2005.
- MANSUR, R. J. C. N. & BARBOSA, D. C. A.. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, n. 68, p.97-106, 2000.
- MATHOBO, R.; MARAIS, D. AND STEYN, J. M.. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural Water Management**, v.180, p. 118-125, 2017.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, 2000.
- MAZORRA, L. M. et al. Influence of brassinosteroids on antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. **Biologia Plantarum**, v. 45, n. 4, p. 593-596, 2002.
- MISSÃO, M. R. Soja: Origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais, v.3, n.1, p. 7-15, 2006.
- MØLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 459-481, 2007.

- MORALES, R. G. F. Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivados de *Solanum pennellii*. 93 p. **Tese** (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2012.
- MORANDO, R., A. O. SILVA, L. C. CARVALHO and M. P. A. PINHEIRO. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 3, p.114-129, 2014.
- MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Eds.). A soja no Brasil. Campinas: IAC, p. 73-104, 1981.
- MUNGER, P.H.; CHANDLER, J.M.; COTHREN, J.T. Effect of Water Stress on Photosynthetic Parameter of Soybean (*Glycine max*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*), **Weed Science**, [S.l.], v.35, p.15-21, 1987.
- NEYSHABOURI, M.R.; HATFIELD, J.L. Soil water deficit effects on semi-determinate and indeterminate soybean growth and yield. **Field Crops Research**, Akron, n.15, p.73-84, 1986.
- NOGUEIRA, A. P. O; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.D. Avanços no melhoramento genético da cultura da soja nas últimas décadas. In: LEMES, E; CASTRO, L.; ASSIS, R. (Org.) **Doenças da soja: Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo**. Campinas: Millennium Editora, p. 159-178, 2015.
- OGWENO, J.O., SONG, X.S., SHI, K., HU, W.H., MAO, W.H., ZHOU, Y.H., YU, J.Q., NOGUES, S. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 27, p. 49– 57, 2008.
- OZTURK, Z. N., V. TALAME, M. DEYHOLOS, C. B. MICHALOWSKI, D. W. GALBRAITH, N. GOZUKIRMIZI, R. TUBEROSA, and H. J. BOHNERT. Monitoring large-scale changes in transcript abundance in drought- and salt-stressed barley. **Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 551–573, 2002.
- OUKARROUM, A. SCHANSKER, G.; MADIDI, S. E.; STRASSER, R. J.. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.60, p.438-446, 2007.
- PARDO, E. M., G. R. VELLICCE, L. AGUIRREZABAL, G. P. IRUJO, C. M. L. ROCHA, M. G. GARCÍA, S. P. ANGUEIRA, B. WELIN, J. SANCHEZ, F. LEDESMA and CASTAGNARO, A. P: Drought tolerance screening under controlled conditions predicts ranking of waterlimited yield of field-grown soybean genotypes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, p. 95-104, 2015.
- PELEG, Z; BLUMWALD, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. **Current Opinion in Plant Biology**. 14:290-295, 2011.

- PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A., ALBUQUERQUE, M. B., NOGUEIRA, R. J. M. C., SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.
- PEREIRA, S. G. F. Alterações em plantas de soja sob déficit hídrico no Estádio reprodutivo. 58 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Agrárias, UFV, Viçosa, 2017.
- PEREIRA, Y.C. , RODRIGUES, W.S. , LIMA, E.J.A. , SANTOS, L.R. , SILVA, M.H.L., LOBATO, A.K.S. Brassinosteroids in soybean plants under water deficit. **Photosynthetica** 57 (1): 181-191, 2019.
- PUSTOVOITOVA, T. N.; ZHDANOVA, N. E.; ZHOLKEVICH, V. N. Epibrassinolide increases plant drought resistance. **Doklady Biochemistry and Biophysics**, v. 376, p. 36-38, 2001.
- RIGO, A.A.; DAHMER, A.M.; STEFFENS, C.; STEFFENS, J.; CARRÃO-PANIZZI, M.C. Characterization of soybean cultivars genetically improved for human consumption. **International Journal of Food Engineering**, v.1, p.1-7, 2015.
- RIVERO, R. M.; GIMENO, J.; VAN DEYNZE, A.; WALIA, H.; BLUMWALD, E. Enhanced cytokinin synthesis in tobacco plants expressing PSARK: IPT prevents the degradation of photosynthetic protein complexes during drought. **Plant and Cell Physiology**, v. 51, n. 11, p. 1929-1941, 2010.
- RODRÍGUEZ, C. M. R.; ZULLO, M. A. T.; QUEIRÓZ, H. M.; AZEVEDO, M. B. M.; BECERRA, E. A.; MANCHADO, F. C. The preparation of spirostane analogues of brassinolide and castasterone. **Polish Journal of Chemistry**, v. 80, n.4, p. 637-646, 2006.
- ROESSING, A. C.; SANCHES, A. C.; MICHELLON, E.; As Perspectivas de Expansão da Soja. **Anais dos Congressos**. XLIII Congresso da Soja em Ribeirão Preto. São Paulo, 2005.
- ROWLAND, L. S.; SMITH, H. K.; TAYLOR, G. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 242, p.44-50, 2018.
- SAINI, S.; SHARMA, I.; PATI, P. K. Papéis versáteis do brassinosteróide em plantas no contexto de sua homeostase, sinalização e crosstalks. **Fronteiras na ciência das plantas** , v. 6, p. 950, 2015.
- SALES, C.R.G., RIBEIRO, R.V., SILVEIRA, J.A.G. MACHADO, E. C., MARTINS, M. O., LAGÔA, A. M. M. A. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 326-336, 2013.

- SALINET, L. H. Avaliação fisiológica e agrônômica de soja geneticamente modificada para maior tolerância à seca. 75 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências – Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, Piracicaba, 2009.
- SANTOS, R. F. & CARLESSO, R.. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SASSE, J.M.. Recent progress in brassinosteroid research. **Physiologia Plantarum**.v. 100, p. 93-99, 1997.
- SASSE, J. M. Physiological actions of brassinosteroids: an update. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 22, p. 276–288, 2003.
- SAYED, O. H.. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research. **Photosynthetica**, v. 41, p.321–330, 2003.
- SEDIYAMA. T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009.
- SEDIYAMA, T. et al. **Cultura da Soja – I Parte**. 3 Reimpressão. Viçosa: UFV. 96 p., 1996.
- SHAHBAZ, M., ASHRAF, M., ATHAR, H.U.R. Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.)? **Plant Growth Regulation**. v. 55, p. 51–64, 2008.
- SHARMA, P.; BHARDWAJ, R.; ARORA, N.; ARORA, H. K. Effect of 28-homobrassinolide on growth, zinc metal uptake and antioxidative enzyme activities in *Brassica juncea* L. seedlings. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 203-207, 2007.
- SILVA, M.A.; JIFON, J.L.; SILVA, J.A.G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 193-201, 2007.
- SILVA, J. A. Atuação do brassinosteróide no crescimento de mamoeiro sobre déficit hídrico. **Dissertação**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA, 2017.
- SILVEIRA J.A.G., ARAÚJO S.A.M, LIMA J.P.M.S. et al.: Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. – **Environmental and Experimental Botany**.v. 66, p. 1-8, 2009.
- SLAVÍK, B. Methods of studying plant water relations. **Berlim: Springer Verlag**, 449p., 1974.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 719 p., 2004.
- TAIZ, L. and ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Massachusetts: Publishers Sunderland, 705 p. ,2006.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p., 2017.
- TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand and negative effects of water deficit. **Frontiers in physiology**, [S1], v. 4, p. 1-7, 2013.
- TAVARES, L. C.; RUFINO, C. de A.; BRUNES, A. P.; DE TUNES, L. M.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1 Performance of soybean seeds under water stress: yield and physiological quality of F1 generation. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.8, p.1357-1363, ago, 2013.
- THILAKARATHNA M.S., RAIZADA M.N.: A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. – **Soil Biology and Biochemistry**, n.105, p.177-196, 2017.
- TIKHONOV, A. N. The cytochrome b6f complex at the crossroad of photosynthetic electron transport pathways. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 81, p. 163-183, 2014.
- TUKAJ Z., BAŚCIK-REMISIEWICZ A., SKOWROŃSKI T. et al.: Cadmium effect on the growth, photosynthesis, ultrastructure and phytochelatin content of green microalga *Scenedesmus armatus*: a study at low and elevated CO₂ concentration. – **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 291-299, 2007.
- VARDHINI, B. V. Application of brassinolide mitigates saline stress of certain metabolites of sorghum grown in Karaikal. **Journal of Phytology**, 2012.
- VENTURA, F. et al. Validation of development models for winter cereals and maize with independent agrophenological observations in the BBCH scale. **Italian Journal of Agrometeorology**. v. 3, p. 17-26, 2009.
- VYAS, S. P. Impact and strategies for yield improvement of arid legumes under drought. **Int. J. App. Life Sci. Engg.** v.1, p.12-19, 2014
- WANG Z., ZHENG P., MENG J. et al.: Effect of exogenous 24-epibrassinolide on chlorophyll fluorescence, leaf surface morphology and cellular ultrastructure of grape seedlings (*Vitis vinifera* L.) under water stress. – **Acta Physiologiae Plantarum**. v.37, p. 1729, 2015.
- WEI, Z.; LI, J.. Os brassinosteróides regulam o crescimento, o desenvolvimento e a simbiose das raízes. **Planta molecular** , v. 9, n. 1, p. 86-100, 2016.
- XIA, X.J., HUANG, L.F., ZHOU, Y.H., MAO, W.H., SHI, K., WU, J.X., ASAMIM, T., CHEN, Z.X., YU, J.Q.. Brassinosteroids promote photosynthesis and growth by enhancing activation of Rubisco and expression of photosynthetic genes in *Cucumis sativus*. **Planta**, v.230, p. 1185–1196, 2009.

- XIA, X.J., WANG, Y.J., ZHOU, Y.H., TAO, Y., MAO, W.H., SHI, K., ASAMI, T., CHEN, Z.X., YU, J.Q.: Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber. - **Plant Physiol.**, v.150, p. 801-814, 2009.
- YU, J.Q., HUANG, L.F., HU, W.H. et al.: A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. – **Journal of Experimental Botany.** ,v. 55, p. 1135-1143, 2004.
- YUAN, G. F.; JIA, C. G.; LI, Z.; SUN, B.; ZHANG, L. P.; LIU, N.; WANG, Q. M. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 2, p. 103-108, 2010.
- ZHANG, M. et al. O brassinolide aliviou o efeito adverso dos déficits hídricos na fotossíntese e no antioxidante da soja (*Glycine max L.*). **Regulamentação do crescimento vegetal** , v. 56, n. 3, p. 257-264, 2008.
- ZHANG, J., J. LIU, C. YANG, S. DU and W. YANG, Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany.**, v. 105, p. 279-287, 2016.

