

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

MARCOS ANTÔNIO DA SILVA BARROZO

**EFEITOS DO 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO
NA FASE DE CRESCIMENTO VEGETATIVO NA CULTURA DA SOJA**

RIO LARGO - AL

2024

MARCOS ANTÔNIO DA SILVA BARROZO

**EFEITOS DO 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO
NA FASE DE CRESCIMENTO VEGETATIVO NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Alagoas, Campus de
Engenharias e Ciências Agrárias, como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira

RIO LARGO – AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

B277e Barrozo, Marcos Antônio da Silva.

Efeitos do 24-Epibrassinolídeo na atenuação do déficit hídrico na fase de crescimento vegetativo na cultura da soja. / Marcos Antônio da Silva Barrozo. – 2024.

31f.: il.

Orientador(a): Vilma Marques Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2024.

Inclui bibliografia

1. *Glycine max*. 2. Brassinosteróides. 3. Deficiência hídrica. I. Título.

CDU: 633.34

Aos meus amados pais Luciano Barrozo e Maria Helena da Silva (*in memoriam*) que foram fundamentais para minha formação e sempre estiveram em meu lado.

A minha esposa Leiliane Barrozo e minha filha Maitê Sofia

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Ao meus pais por todo incentivo e apoio, em especial a minha amada mãe.

A Universidade Federal de Alagoas e ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias .

Agradeço a minha orientadora, Professora Dra. Vilma Marques Ferreira, pela orientação e ensinamentos essenciais para minha formação.

Aos amigos do laboratório de Fisiologia Vegetal, André, Jônatas, José Neto, Nathally, aos meus amigos que fiz durante a graduação em especial, Joelcio, Vicente, Batista, Wyslane, João, Wallison, pelo companheirismo e incentivo.

A minha esposa, por me apoiar em todos os momentos.

A todos os professores do curso de Agronomia do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, por todos os ensinamentos e conselhos.

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância econômica, utilizada para a alimentação humana e animal. 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 aplicação do 24-Epibrassinolídeo na atenuação do estresse hídrico na fase de crescimento vegetativo na cultura da soja. O experimento foi realizado sob delineamento em blocos casualizados no esquema fatorial 2x2 com oito repetições, utilizando-se a cultivar IMA 84114 RR. Os tratamentos foram compostos por duas condições hídricas (controle e déficit hídrico) combinadas ou não a aplicação do 24-Epibrassinolídeo (24-EBR), o qual foi aplicado à concentração de 0,1 mg/L, que foram realizadas nas folhas dos terços médio e superior da planta, em intervalos de 5 dias. A deficiência hídrica foi imposta pela suspensão da irrigação até o murchamento das plantas de soja, o que determinou o momento de reidratação. O estresse hídrico causou reduções na altura das plantas, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca do caule, matéria seca da raiz, matéria seca das folhas e matéria seca total, porém os tratamentos que receberam a aplicação do 24-EBR apresentaram menor redução na média destas variáveis. O rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) das plantas sob déficit hídrico sem a aplicação do 24-EBR foi menor que as plantas que receberam a aplicação do 24-EBR sob a mesma condição hídrica, esses resultados indicam que o 24-Epibrassinolídeo possui um efeito positivo sobre as plantas de soja submetidas ao déficit hídrico, podendo ser usado para atenuar o déficit hídrico nesta cultura.

Palavras-chave: *Glycine max*, brassinosteróides, deficiência hídrica.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is a crop of great economic importance, used for human and animal food. The water deficit is the main limiting factor for the productivity of this crop in the world. Alternatives to minimize the impacts of water deficit on plants involve the application of plant bioregulators, among which Brassinosteroids stand out. For this reason, this work aimed to evaluate the application of 24-Epibrassinolide in the attenuation of water stress in the vegetative growth phase in the soybean crop. The cultivar used was IMA 84114 RR, the experiment was carried out in a 2x2 factorial scheme with eight replications. The treatments consisted of two water conditions (control and water deficit) combined or not with the application of 24-Epibrassinolide (24-EBR), which was applied at a concentration of 0.1 mg/L, which were carried out on the leaves of thirds middle and upper part of the plant, at intervals of 5 days. The maximum period of water deficit was determined by the wilting of soybean plants, which determined the moment of rehydration. Water stress caused reductions in plant height, stem diameter, leaf area, stem dry matter, root dry matter, leaf dry matter and total dry matter, but the treatments that received the application of 24-EBR showed an increase in average of these variables. The maximum quantum yield of PSII (Fv/Fm) of plants under water deficit without the application of 24-EBR was lower than the plants that received the application of 24-EBR under the same water condition, these results indicate that 24-Epibrassinolide have a positive effect on plants subjected to water deficit, and can be used to mitigate water stress.

Keywords: *Glycine max*, brassinosteroids, water deficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área experimental localizada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas.....	15
Figura 2 - Altura da planta (A) e diâmetro do caule (B) durante o período experimental.....	18
Figura 3 -. Área Foliar e número de folhas da planta durante o período experimental.....	19
Figura 4 - Taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO ₂	20
Figura 5 - Rendimento quântico máximo do PSII no período de déficit hídrico (A) e reidratação (B) durante o período experimental.....	23
Figura 6 - Matéria seca do caule (A), folha (B), raiz (C) e total (D) de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com ou sem aplicação do 24-Epibrassinolídeo seguidos de reidratação.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Características Botânicas da soja	11
2.2 Fenologia da Soja	12
2.3 Déficit Hídrico na Cultura da Soja	13
2.4 Brassinosteróide	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Localização da área experimental.....	15
3.2 Delineamento experimental	15
3.3 Condução do experimento	16
3.4 Avaliações fisiológicas	16
3.5 Avaliações morfológicas	17
3.6 Avaliações da matéria seca	17
3.7 Análises estatísticas.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÕES	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
7. APÊNDICE.....	32

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa rica em proteína (Papaleo, 2014). É uma cultura de grande importância econômica, utilizada para a alimentação humana e animal (Pereira *et al*, 2019). Atualmente o Brasil lidera o *ranking* dos maiores produtores de soja no mundo, com uma produção de 156 milhões de toneladas do grão na safra 2022/2023, seguido pelos Estados Unidos e Argentina (Boschiero, 2023). O plantio de soja em Alagoas é recendo e encontra-se em processo de ascensão, no período de 2015 a 2018 apresentou aumento de 3.112% da área destinada ao plantio da cultura no estado. (EMBRAPA, 2018).

A água constitui grande parte do peso da planta de soja, cerca de 90% e atua em quase todos os processos fisiológicos e bioquímicos. A disponibilidade de água no solo é fundamental para o desenvolvimento da cultura, especialmente nas fases em que esta é mais sensível ao déficit hídrico, que são as fases de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (Farias *et al*, 2007).

A disponibilidade hídrica no solo pode ser considerada como o fator climático que mais afeta a produtividade agrícola (Farias *et al*, 2007). O déficit hídrico causa mudanças no metabolismo das plantas, interfere na expansão e divisão celular, causando redução no crescimento da planta, além de causar também diminuição da condutância estomática, da taxa fotossintética, do potencial hídrico foliar e da produtividade (Pereira *et al*, 2019).

Os brassinosteróides são reguladores de crescimento que são conhecidos por promover resistência as plantas contra vários tipos de estresses tanto bióticos como abióticos, incluindo a resistência ao déficit hídrico (Fariduddin *et al*, 2014). A aplicação de brassinosteróides em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico aumentou o rendimento quântico máximo do PSII assim como o potencial hídrico foliar (Zhang *et al*, 2008).

Diante do exposto, pode-se inferir que os biorreguladores, devido à sua ampla gama de aplicações, apresentam um potencial significativo para mitigar os efeitos do déficit hídrico. No entanto, são necessárias pesquisas adicionais sobre a utilização desses biorreguladores na cultura da soja. Portanto o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do biorregulador 24-epibrassinolídeo nos aspectos

morfológicos e fisiológicos que demonstram a sua eficiência na mitigação dos efeitos do déficit hídrico na fase de crescimento vegetativo na cultura da soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características Botânicas da soja

A soja (*Glycine max*) pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* e sendo sua forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill (VERNETTI; GASTAL, 1979; EMPRAPA, 2021). A soja é uma planta anual, herbácea com a reprodução autógama. A estatura das plantas apresenta certa variabilidade, que são influenciadas pelo ambiente em que é cultivada, sendo considerada uma estatura ideal de 60 a 110 cm, que pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento (Nepomuceno *et al.*, 2021).

O sistema radicular da soja é composto por uma raiz axial e raízes secundárias que são distribuídas em quatro fileiras (VERNETTI; GASTAL, 1979). Uma das características do sistema radicular da soja é a formação de nódulos, que são gerados devido a simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que são bactérias que proporcionam a fixação do nitrogênio disponível no ar e o disponibiliza para a planta em uma forma assimilável (TEJO *et al.*, 2019).

O caule da soja pode ser considerado como herbáceo, híspido, pubescente e ramificado, e seu desenvolvimento origina-se a partir do eixo embrionário. O crescimento, para a maioria das cultivares é ortótopo, porém pode ser influenciado por condições externas (TEJO *et al.*, 2019). O hábito de crescimento pode ser classificado, como determinado, indeterminado e semideterminado. (FARIAS *et al.*, 2021)

Dentre as características das cultivares de crescimento determinado estão o crescimento mínimo após o florescimento e a não ramificação, o florescimento ocorre praticamente ao mesmo tempo, ocorre uma distribuição praticamente uniforme das vagens ao longo do caule e ramos laterais. Já as de crescimento indeterminado são caracterizadas pelo crescimento contínuo após o florescimento, a partir do início do florescimento até a maturação a planta pode dobrar sua estatura, o florescimento ocorre de baixo para cima, podendo ocorrer a presença de vagens bem desenvolvidas na base e ao mesmo tempo a presença de flores no topo da planta, e as de crescimento semideterminado, apresentam características de ambos

os crescimentos, tanto do tipo determinado como do indeterminado. (FARIAS *et al.*, 2021)

Durante o seu desenvolvimento a soja apresenta quatro tipos de folhas, sendo elas, as folhas cotiledonares, unifolioladas, trifolioladas ou compostas, prófilos ou brácteas (VERNETTI; GASTAL, 1979).

A soja possui flores de fecundação autógama, as cores podem ser branca, púrpura ou roxa, dependendo da cultivar. As flores apresentam cálice tubular, sendo a corola composta por cinco pétalas (VERNETTI; GASTAL, 1979).

O fruto da soja é o legume normalmente chamado de vagem. Consiste de duas metades do carpelo único. A cor da vagem pode variar de preta, a tonalidades, de marrom e amarelo-palha. O número de grãos por vagem varia de 1 a 4, mas, normalmente, as vagens possuem 2 ou 3 grãos. (VERNETTI; GASTAL, 1979; EMPRAPA, 2021).

2.2 Fenologia da Soja

Conhecer os estádios fenológicos da soja é importante, pois por meio destes estádios é possível observar a relação ente o desenvolvimento da planta e suas necessidades específicas ao longo de seu ciclo de vida (SEIXAS, 2020).

A classificação dos estádios fenológicos mais utilizado foi proposta por Fehr e Caviness (1977), onde propuseram a divisão do ciclo da soja em estádios vegetativos (V) e estádios reprodutivos (R). Os estádios específicos são identificados por meio de números, após o V ou R, com exceção do estágio de emergência (VE) e Cotilédone (VC) (FEHR; CAVINESS, 1977)

O primeiro estágio vegetativo é o VE (emergência) que é caracterizado quando os cotilédones estão acima da superfície do solo. O segundo estágio vegetativo é o VC (Cotilédone) que ocorre quando os cotilédones já se encontram abertos e expandidos. A partir do VC, a identificação do estágio vegetativo é feita com base no desenvolvimento da folha imediatamente acima. Quando as bordas do folíolo não mais se tocam. Os estádios vegetativos são numerados em sequência: V1, V2, V3, ... Vn, até o início do florescimento, quando há uma flor aberta em qualquer nó do caule, que caracteriza o estágio R1 (FEHR; CAVINESS, 1977)

Os estádios reprodutivos são representados pela letra R seguida dos números de 1 até 8. Por sua vez, os estádios reprodutivos podem ser divididos em quatro fases, sendo elas: florescimento (R1 e R2), desenvolvimento de vagens (R3 e R4), desenvolvimento de grãos (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8) (Seixas, 2020).

2.3 Déficit Hídrico na Cultura da Soja

A água constitui grande parte do peso da planta de soja, com cerca de 90%, e atua em quase todos os processos fisiológicos e bioquímicos. A sua disponibilidade no solo é fundamental para o desenvolvimento da soja (FARIAS *et al*, 2007). O déficit hídrico pode acarretar o desenvolvimento de plantas com pequena estatura, folhas pequenas e entrenós curtos (BONATO, 2000).

Na cultura da soja o déficit hídrico severo causa reduções na sua altura, em comparação com os tratamentos sem déficit hídrico. (BÁEZ *et al*, 2020). Além do mais, plantas estressadas principalmente na fase vegetativa, apresentam decréscimo em variáveis morfológicas como crescimento e área foliar. Durante a fase reprodutiva o déficit hídrico causa reduções drásticas no rendimento da cultura e quando o estresse ocorre no período de florescimento pode ser observado maiores de abortamento de flores (BONATO, 2000).

O déficit hídrico pode reduzir a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos e adiantar a maturação, com isso os grãos produzidos sob essas condições são menores em comparação aos produzidos sob condições hídricas normais. (BONATO, 2000).

2.4 Brassinosteróide

Os hormônios vegetais são substâncias orgânicas fundamentais para a regulação do desenvolvimento vegetal. Em pequenas quantidades são capazes de promover, inibir, retardar ou modificar processos fisiológicos e morfológicos (PEIXOTO, 2020).

Os brassinosteróides são uma nova classe de hormônios vegetais que possuem uma estrutura esteroídica polioxigenada e desempenham papéis importantes na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando na regulação de uma ampla variedade de processos, incluindo divisão e

alongamento celular, fotomorfogênese, diferenciação do xilema, reprodução e resposta a estresses tanto abióticos quanto bióticos. (NOLAN *et al*, 2020; ZULLO; ADAM, 2002; YIN *et al.*, 2019).

Estudos recentes demonstram os efeitos positivos da utilização do biorregulador 24-epibrassiolideo (24-EBR) em plantas de soja, na mitigação de estresses abióticos, como o alagamento, a salinidade e o déficit hídrico. Dentre estes efeitos estão à redução de compostos oxidantes (superóxido e peróxido de hidrogênio), aumento da taxa fotossintética, a elevação da atividade de enzimas ligadas ao sistema antioxidante, resultando em menores danos as membranas e cloroplastos, assim como o aumento das trocas gasosas. (Alam *et al*, 2019; Pereira *et al*, 2019, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido em casa de vegetação (09°28'0.28"S; 35°49'34.32"W e 130 m de altitude), no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL) localizado no município de Rio Largo – AL, Brasil.



Figura 1. Área experimental localizada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas. (Fonte: Google Earth)

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 8 repetições, arranjados em um fatorial de 2x2, totalizando 4 tratamentos, correspondendo a duas condições hídricas (controle e déficit hídrico), além da presença ou ausência do biorregulador 24-Epibrassinolídeo (24-EBR), num total de 32 parcelas. Dessa forma, os tratamentos consistiram de: “Controle com 24-EBR”, “Controle sem 24-EBR”, “Déficit Hídrico com 24-EBR” e “Déficit Hídrico sem 24-EBR”.

Cada parcela foi representada por 1 vaso com capacidade para 20L, preenchidos com 20 kg de solo peneirado do tipo franco areno-argiloso, coletado em uma área adjacente ao CECA.

3.3 Condução do experimento

A cultivar utilizada foi a IMA 84114 RR. Foram semeadas 5 sementes de soja, por vaso. O solo foi previamente irrigado até atingir a capacidade de campo, de forma a garantir a efetivação do processo de germinação e o desenvolvimento das plântulas. O desbaste de plântulas foi realizado aos 10 dias após a semeadura (DAS), deixando-se apenas três plantas por vaso. A irrigação foi realizada a cada dois dias, mantendo a umidade próxima a capacidade de campo, até as plantas atingirem a fase de crescimento vegetativo V3, aos 16 DAS quando a irrigação foi reduzida gradativamente até a sua suspensão total, que ocorreu aos 27 DAS, em metade das parcelas do experimento.

Nos tratamentos que receberam a aplicação do biorregulador vegetal 24-EBR, a aplicação do biorregulador foi realizada nas folhas dos terços médio e superior das plantas, à concentração de 0,1 mg/L 24-EBR, sendo pulverizada uma alíquota de 30 mL por vaso, até o ponto de escorrimento, em intervalos de 5 dias, iniciando aos 12 DAS até os 27 DAS, quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica total. O período máximo de deficiência hídrica foi determinado pelo murchamento das plantas de soja. Em seguida fez-se a reidratação, retomando-se a irrigação.

3.4 Avaliações fisiológicas

As trocas gasosas foram determinadas por meio de um analisador portátil de CO₂ por infravermelho (IRGA), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). Foram medidas a taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e, concentração interna de CO₂ (Ci). As medições ocorreram durante a fase de crescimento vegetativo da soja, entre os estádios V7 a V9, no período de supressão hídrica, entre 28 e 35 DAS, sendo realizadas no período da manhã, entre 9h10 min e 11h20 min.

A eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) 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 cliques foliares O

rendimento quântico efetivo do PSII (Yield) foi determinado às 12:00 horas da manhã sob luz ambiente.

3.5 Avaliações morfológicas

Durante o experimento, foram realizadas avaliações biométricas para as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas por planta e área foliar. A altura das plantas foi medida com uma fita métrica, como a distância entre o solo e o ápice do caule principal, resultados foram expressos em centímetros (cm). O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro digital na haste principal a região localizada acima do nó basal, resultado expresso em milímetros (mm). O número de folhas por planta foi calculado somando todos os trifólios da planta.

A área foliar foi medida utilizando a seguinte formula:

$$AF = C \times L \times 0,7$$

Em que:

AF: área foliar (cm²);

C: Comprimento da folha (cm);

L: Largura da folha (cm).

Como as folhas de soja apresentam um formato ovóide, foram descontados 30% da área foliar (0,7 na fórmula), garantindo uma estimativa mais precisa da variável.

3.6 Avaliações da matéria seca

Para mensuração da matéria 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, à temperatura de 65°C, sendo todos, em seguida, pesados em balança analítica. A massa seca da parte aérea foi obtida pela soma do caule + folhas e da massa seca total pela soma de todas as partes.

3.7 Análises estatísticas

Os parâmetros analisados durante todo o experimento foram representados por meio de gráficos de linhas com barras de erro. Os dados dos parâmetros

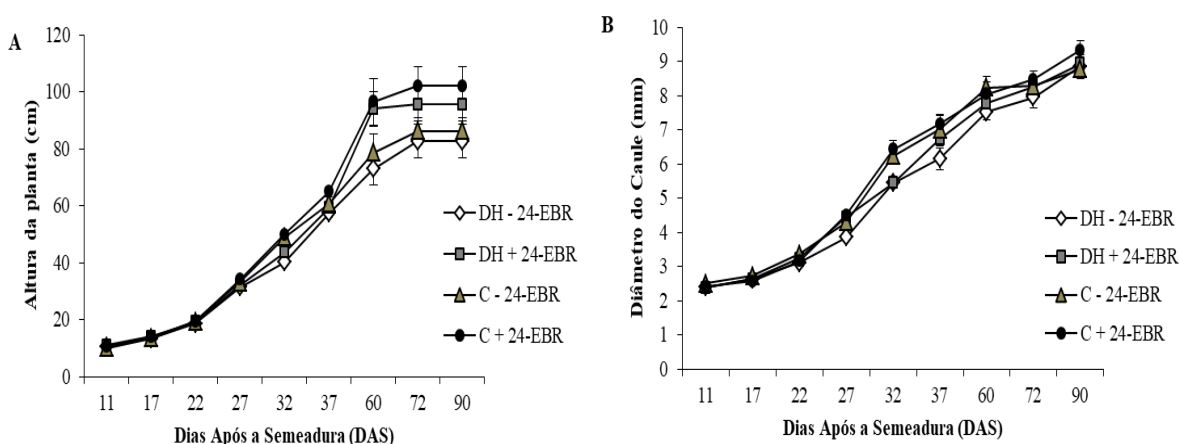
avaliados em períodos específicos do experimento foram submetidos às análises de variância com níveis de significância de 0,1%, 1% e 5% pelo teste F. Quando foram observadas diferenças estatísticas, o Teste de Tukey foi empregado para a comparação das médias. Essas comparações foram representadas por meio de gráficos de colunas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da suspensão da irrigação (27 DAS) houve um decréscimo na altura das plantas nos tratamentos sem a aplicação do 24-Epibrassinolídeo (24-EBR), de modo que, ao final do experimento o tratamento Controle + 24-EBR proporcionou a maior média de altura da planta e o tratamento Déficit hídrico + 24-EBR proporcionou média superior ao tratamento Controle - 24-EBR enquanto o tratamento Déficit hídrico - 24-EBR proporcionou a menor média (Figura 2A.). Estes resultados podem ser um indicativo de que o biorregulador 24-Epibrassinolídeo influenciou positivamente na altura das plantas de soja, bem como atenuou os impactos do déficit hídrico sobre essa variável.

As plantas expostas ao déficit hídrico, com ou sem a aplicação do 24-EBR, apresentaram menor diâmetro do caule entre os dias 22 e 37, período correspondente ao estresse hídrico (Figura 2B.), porém ao final do experimento aos 90 dias, o tratamento déficit Hídrico com 24-EBR apresentou diâmetro do caule semelhante ao tratamento Controle sem 24-EBR, indicando que após o estresse, as plantas que receberam o regulador foram capazes de recuperar o seu crescimento, assemelhando-se às plantas controle.

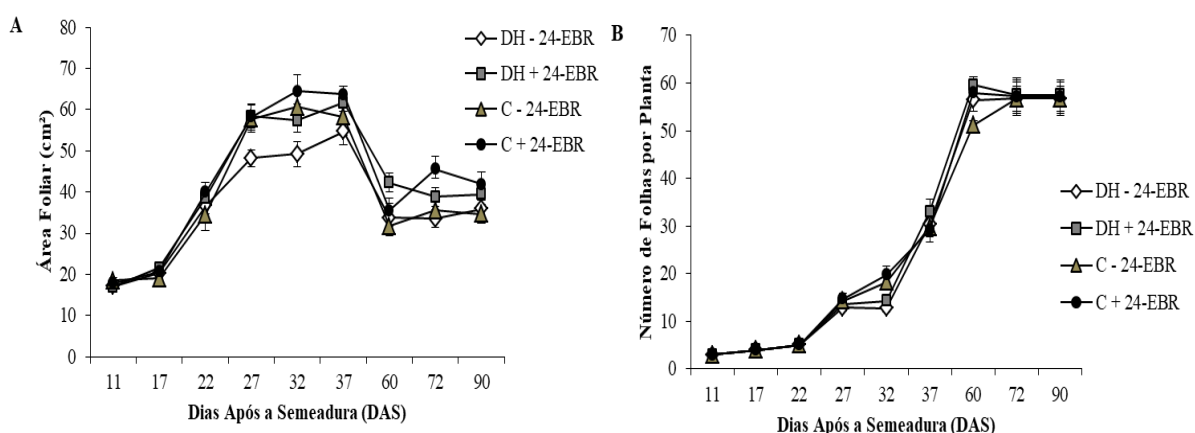
Figura 2. Altura da planta (A) e diâmetro do caule (B) durante o período experimental. DH – 24-EBR = Déficit hídrico, sem o 24-EpiBrassinolídeo; DH + 24-EBR = Déficit hídrico, com o 24-EpiBrassinolídeo; C– 24-EBR = Controle, sem o 24-EpiBrassinolídeo e C + 24-EBR = Controle, com o 24-EpiBrassinolídeo.



Plantas expostas ao déficit hídrico, sem a aplicação do 24-EBR (DH – 24-EBR) apresentaram menor área foliar entre os dias 22 e 37 (DAS), período equivalente ao estresse hídrico destes tratamentos (Figura 3A). Em contrapartida, plantas sob déficit hídrico, com a aplicação do 24-EBR (DH + 24-EBR) apresentaram valores de área foliar bem próximos aos das plantas irrigadas. Maiores valores de área foliar foram verificados no tratamento Controle com 24-EBR.

Durante o período de exposição ao estresse hídrico entre os dias 22 e 37, as plantas sob déficit hídrico, sem a aplicação do 24-EBR (DH – 24-EBR) apresentaram menor número de folhas (Figura 3B). Em contrapartida, plantas sob déficit hídrico, com a aplicação do 24-EBR (DH + 24-EBR) apresentaram maior número de folhas.

Figura 3. Área Foliar e número de folhas da planta durante o período experimental. DH – 24-EBR = Déficit hídrico, sem o 24-EpiBrassinolídeo; DH + 24-EBR = Déficit hídrico, com o 24-EpiBrassinolídeo; C– 24-EBR = Controle, sem o 24-EpiBrassinolídeo e C + 24-EBR = Controle, com o 24-EpiBrassinolídeo.



Pode-se observar que as plantas de soja sofreram sob déficit hídrico, causando redução nos atributos morfológicos mencionados, porém os tratamentos com a aplicação do biorregulador 24-Epi brassinolídeo acarretaram em menores reduções.

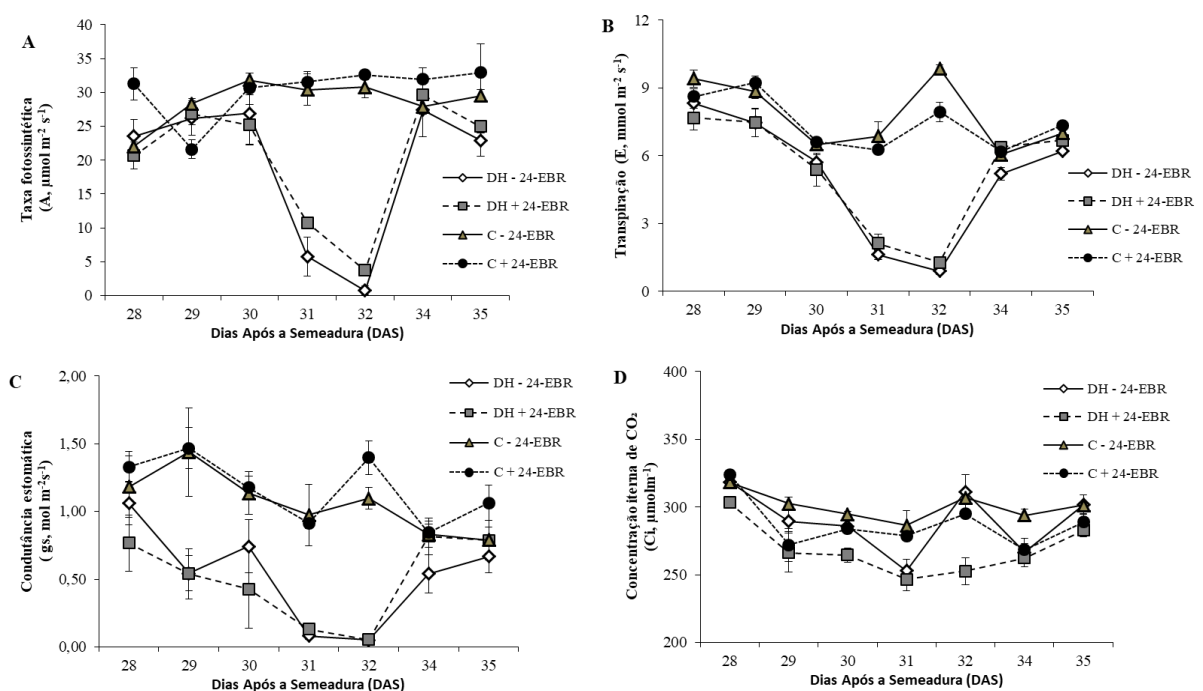
Na avaliação dos efeitos do 24-EBR em plantas, Ghasemi *et al.* (2022), também observaram respostas positivas ao uso deste biorregulador em plantas de milho em condições de estresse hídrico. Os autores verificaram que a aplicação deste bioregulador atenuou o efeito do estresse, onde as plantas de milho

apresentaram uma altura menor comparadas as plantas que receberam o tratamento com o 24-EBR.

Estudos indicam que os brassinosteróides estão envolvidos no processo de alongamento e divisão celular (HU *et al.*, 2000). Explicando o melhor desenvolvimento das plantas de soja que receberam a aplicação do biorregulador 24-Epibrassinolídeo, tanto do tratamento controle quanto sob déficit hídrico. Khan *et al.* (2022) relataram que o déficit hídrico diminuiu a espessura das folhas de plantas de tabaco, porém, a aplicação de 24-EBR aumentou em 27% a espessura das folhas, segundo os autores, a aplicação do 24-EBR promoveu aumento da espessura foliar por meio de níveis mais elevados de transcrição de genes relacionados à expansão celular induzida pelo ácido indolacético (AIA) e brassinosteróides. Mutantes de *Arabidopsis* deficientes em brassinosteróides apresentaram nanismo severo, indicando que os brassinosteróides estão envolvidos no desenvolvimento da planta (TAIZ *et al.*, 2017).

Durante o período de déficit hídrico as plantas de soja reduziram a taxa fotossintética, a transpiração e a condutância estomática (Figura 4).

Figura 4. Taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂. DH – 24-EBR = Déficit hídrico, sem o 24-Epibrassinolídeo; DH + 24-EBR = Déficit hídrico, com o 24-EpiBrassinolídeo; C– 24-EBR = Controle, sem o 24-EpiBrassinolídeo e C + 24-EBR = Controle, com o 24-EpiBrassinolídeo.



No período de déficit hídrico severo, aos 32 DAS, as plantas sob déficit hídrico sem a aplicação do 24-EBR (DH – 24-EBR) apresentaram taxa fotossintética média de $0,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto que as plantas do tratamento déficit hídrico com a aplicação do 24-EBR (DH + 24-EBR) apresentaram taxa fotossintética média de $3,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Aos 34 DAS ocorreu a reidratação, em que o tratamento que recebeu a aplicação do 24-EBR aumentou a taxa fotossintética para $29,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o tratamento sem o 24-EBR aumentou para $27,38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As plantas do tratamento Controle com 24-EBR e Controle sem 24-EBR apresentaram taxas fotossintéticas próximas a $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 4A).

Durante o período de déficit hídrico severo, aos 32 DAS, as plantas sob déficit hídrico sem a aplicação do 24-EBR (DH – 24-EBR) reduziram a condutância estomática em 95% quando comparado ao tratamento controle (C – 24-EBR). De forma semelhante, as plantas sob déficit hídrico com a aplicação do bioregulador 24-EBR, reduziram em 96% comparado ao tratamento “controle com 24-EBR”. Porém durante a reidratação as plantas sob déficit hídrico com a aplicação do 24-EBR, apresentaram valores de $0,81 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, próximo aos tratamentos “Controle com 24-EBR” e “Controle sem 24-EBR”, que apresentaram $0,84 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $0,83 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, enquanto que o tratamento “Déficit hídrico sem 24-EBR” apresentou condutância estomática de $0,54 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4C).

Durante o déficit hídrico severo, aos 32 DAS, as plantas do tratamento “Déficit hídrico sem 24-EBR” reduziram a transpiração em 91%, comparado ao seu controle (Controle com 24-EBR), enquanto que as plantas correspondentes ao tratamento “Déficit hídrico com 24-EBR”, reduziram a transpiração em 84%, comparado ao seu controle (Controle com 24-EBR). No período de reidratação, que ocorreu aos 34 DAS, as plantas apresentaram médias próximas de 6,38, 6,04, 6,18 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente para os tratamentos “Controle com 24-EBR”, “Controle sem 24-EBR”, “Déficit hídrico com 24-EBR”, com exceção do tratamento “Déficit hídrico sem 24-EBR” que apresentou média de 5,21 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4B).

Durante o período de déficit hídrico as plantas do tratamento “Déficit hídrico com 24-EBR” apresentaram médias de concentração interna do CO_2 de $266,67 \mu\text{mol m}^{-1}$, sendo menores de quando comparadas ao tratamento “Déficit hídrico com 24-

EBR” que apresentaram médias de 291,56 $\mu\text{mol m}^{-1}$. Durante a reidratação as plantas do tratamento “Déficit hídrico com 24-EBR” e “Déficit hídrico sem 24-EBR” apresentaram média próximas, 262,25 e 266,54 $\mu\text{mol m}^{-1}$, respectivamente (Figura 4D).

As folhas das plantas de soja apresentam como uma das primeiras respostas ao déficit hídrico o fechamento dos estômatos, como um mecanismo para tolerar o déficit hídrico, tendo como consequência à redução da transpiração e taxa fotossintética, conforme observada no presente estudo. Porém, as plantas sob déficit hídrico com a aplicação do biorregulador 24-EBR, tiveram menores reduções na taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática, indicando que o tratamento das plantas de soja com 24-EBR influenciou o controle da abertura e fechamento dos estômatos de plantas de soja.

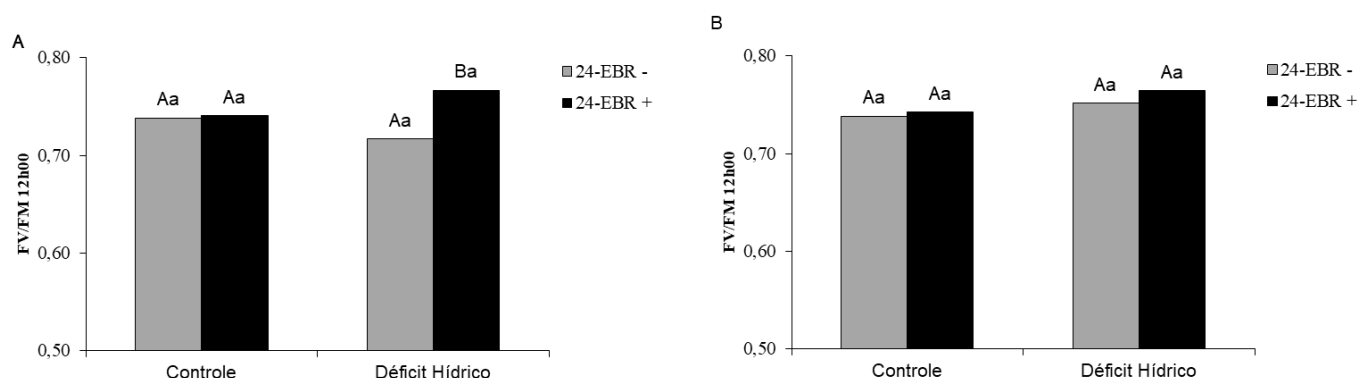
Em outros estudos realizados com brassinosteróides, Faizan *et al.* (2021) observaram que plantas de tomate tratadas com 24-EBR, melhoraram a atividade fotossintética e abertura dos estômatos. Em milho, Desoky *et al.* (2021) observaram que sob déficit, a aplicação deste bioregulador também atenuou os efeitos negativos da falta de água, com respostas positivas nas taxas fotossintética, transpiração e a condutância estomática em 22%, 17,9% e 14,4%, respectivamente, em comparação com plantas de milho não tratadas.

Segundo Pereira *et al.* (2019) plantas de soja expostas ao déficit hídrico apresentaram reduções na taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, sendo tais respostas alteradas com a aplicação do 24-EBR, com aumentos de 436%, 45%, 240%, respectivamente.

Durante o período de estresse hídrico, o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), foi mensurado e verificou-se que as plantas sob déficit hídrico, sem a aplicação do 24-EBR apresentaram uma menor média da razão F_v/F_m indicando um possível dano ao aparato fotoquímico. Ao passo que as plantas sob a mesma condição hídrica submetidas a aplicação do 24-EBR, apresentaram média maior, de modo que não houve um possível dano ao aparato fotoquímico (Figura 5A). As plantas sob controle, com e sem a aplicação do 24-EBR apresentaram médias semelhantes da razão F_v/F_m . Durante o período de reidratação de modo que as plantas tanto sob déficit hídrico como as plantas sob controle, apresentaram médias

semelhantes da razão F_v/F_m , indicando a recuperação do rendimento quântico máximo do PSII (Figura 5B).

Figura 5. Rendimento quântico máximo do PSII no período de déficit hídrico (A) e reidratação (B) durante o período experimental. 24-EBR - = sem a aplicação do 24-Epibrassinolídeo; 24-EBR+ = com a aplicação do 24- Epibrassinolídeo.



*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para avaliar o efeito de diferentes tratamentos dentro de cada condição hídrica e letras minúsculas iguais entre condições hídricas dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Zhang *et al.* (2008) verificaram que a F_v/F_m de plantas de soja sob a condição hídrica controle e tratadas com o brassinolídeo apresentaram médias similares, porém as plantas sob déficit hídrico e tratadas com o brassinolídeo apresentaram valores maiores que as plantas controle, semelhante ao resultado obtido com o presente estudo. Lima *et al.* (2017) verificaram que plantas de feijão sob déficit hídrico e tratadas com o brassinolídeo apresentaram média superior de F_v/F_m do que as plantas que não receberam a aplicação do brassinolídeo, resultado semelhante ao encontrado neste estudo.

Entre as plantas submetidas ao tratamento déficit hídrico, e que receberam aplicação de 24-EBR observou-se um aumento de 37,29% na matéria seca do caule (MSC), quando comparadas as plantas sem a aplicação do 24-EBR (Figura 6A). As plantas irrigadas e que receberam o 24-EBR apresentaram um aumento de 17,56% na MSC, quando comparadas as plantas que não receberam a aplicação do 24-EBR. Esses resultados indicam que o biorregulador 24-Epibrassinolídeo influenciou positivamente no acúmulo de matéria seca no caule, independentemente da restrição hídrica, além de ter evitado as perdas ocasionadas pelo déficit hídrico sobre essa variável.

As plantas que foram expostas ao déficit hídrico, sem a aplicação do 24-EBR apresentaram uma redução de 34,16% de matéria seca da folha quando comparadas as plantas que receberam a aplicação do 24-EBR. Em contrapartida plantas sob déficit hídrico, com a aplicação do 24-EBR apresentaram maior média nesta condição hídrica, com valores semelhantes às plantas irrigadas. Esses resultados indicam que o biorregulador 24-EpiBrassinolídeo apresentou um efeito positivo sobre as plantas sob déficit hídrico em relação ao acúmulo de matéria seca da folha (Figura 6B).

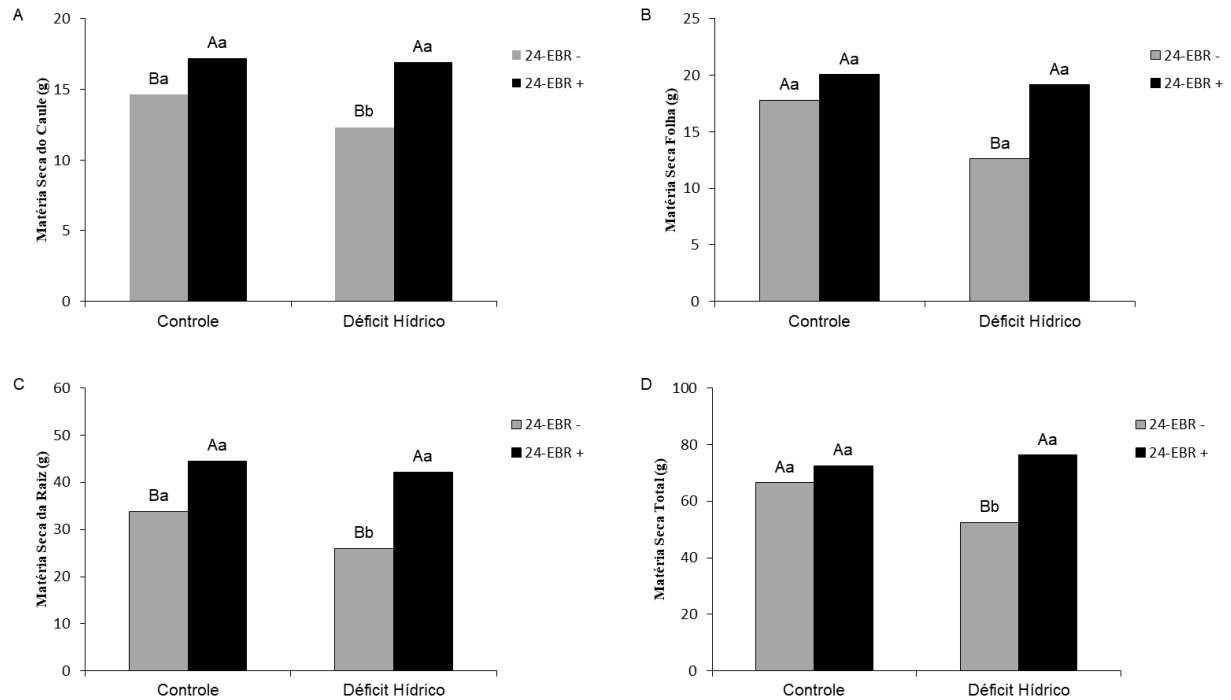
As plantas sob déficit hídrico, com a aplicação do 24-EBR apresentaram aumentos de 62,74% na média de matéria seca da raiz (MSR), quando comparadas às plantas sob a mesma condição hídrica sem a aplicação do 24-EBR (Figura 6C). As plantas sob a condição hídrica controle, com a aplicação do 24-EBR apresentaram um aumento de 31,92% na média de MSR quando comparadas ao tratamento sem a aplicação do 24-EBR sob a mesma condição hídrica.

As plantas expostas ao déficit hídrico, com a aplicação do 24-EBR apresentaram um aumento de 45,63% na média de matéria seca total (MST), quando comparadas as plantas sob a mesma condição hídrica sem a aplicação do 24-EBR. As plantas sob a condição hídrica controle, sem e com a aplicação do 24-EBR apresentaram médias semelhantes (Figura 6D).

Pereira (2019) ao estudar o efeito dos brassinosteróides sobre o crescimento de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico relatou que a MSF e MSC diminuíram sob déficit hídrico, porém com a aplicação do 24-Epi brassinolídeo houveram aumentos de 13% e 11% respectivamente em relação aos tratamentos sem a aplicação do 24-epibrassinolídeo corroborando com os resultados neste estudo.

Zhang *et al.* (2008) relataram que o déficit hídrico diminuiu a matéria seca da folha e do caule, porém não teve efeito sobre a massa seca de raiz em plantas de soja, mas os tratamentos que receberam a aplicação do brassinolídeo tiveram aumentos sobre a matéria seca de raízes, folhas e caule corroborando com os resultados neste estudo.

Figura 6. Matéria seca do caule (A), folha (B), raiz (C) e total (D) de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico com ou sem aplicação do 24-Epibrassinolídeo seguidos de reidratação. 24-EBR - = sem a aplicação do 24-Epibrassinolídeo; 24-EBR+ = com a aplicação do 24-Epibrassinolídeo.



*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

5. CONCLUSÕES

A aplicação do 24-EBR em plantas de soja, na fase vegetativa, atenua os efeitos do déficit hídrico nas trocas gasosas e mantém a eficiência fotoquímica do fotossistema II, reduzindo assim os danos ao aparato fotossintético causados pelo déficit hídrico.

As plantas de soja que receberam a aplicação do 24-EBR apresentam, ao final do experimento, melhores resultados de altura da planta, área foliar e maior acúmulo de matéria seca do caule, raiz, folhas e total, indicando que o 24-EBR pode ser usado para mitigar os danos causados pelo déficit hídrico na cultura da soja.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alam, P.; Albalawi, T.H.; Altalayan, F.H.; Bakht, M.A.; Ahanger, M.A.; Raja, V.; Ashraf, M.; Ahmad, P. **24-Epibrassinolide (EBR) Confers Tolerance against NaCl Stress in Soybean Plants by Up-Regulating Antioxidant System, Ascorbate-Glutathione Cycle, and Glyoxalase System**. *Biomolecules* 2019, 9, 640.

Báez, Armoa; Soledad, M.; Petry, M. T.; Carlesso, R.; Basso, L. J., Da Rocha, M. R.; Rodriguez, G. J. **Balanço Hídrico E Produtividade Da Soja Cultivada Sob Diferentes Níveis De Déficit Hídrico No Sul Do Brasil**. *Investigación Agraria*, v. 22, n. 1, p. 3-12, June 2020.

BONATO, E.R., ed. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254p.

Boschiero, B. N. 6 maiores produtores de soja do mundo: quando e quanto produzem? 2023. disponível em <<https://agroadvance.com.br/blog-6-maiores-produtores-de-soja-do-mundo/>>. Acesso em 13 set. 2023.

Desoky, E.-S.M.; Mansour, E.; Ali, M.M.A.; Yasin, M.A.T.; Abdul-Hamid, M.I.E.; Rady, M.M.; Ali, E.F. **Exogenously Used 24-Epibrassinolide Promotes Drought Tolerance in Maize Hybrids by Improving Plant and Water Productivity in an Arid Environment**. *Plants* 2021, 10, 354.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Características da soja**. 2021. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Em 3 anos, plantio de soja cresce 3.112% em Alagoas. Brasília: EMBRAPA, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38352874/em-3-anos-plantio-de-soja-cresce-3112-em-alagoas>>. Acesso em: 08 jul. 2023

Farias, J. R. B., et al. *Ecofisiologia da soja*, Circular técnica. Paraná 2007

Farias, R. B. F.; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N. **Tipo de Crescimento**. 2021. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o->

ambiente/estadios-de-desenvolvimento/tipo-de-crescimento>. Acesso em: 09 jul. 2023.

Fariduddin,Q; et al. **Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses**. *Biologia Plantarum*, v. 58, n. 1, p 9 -17, 2014.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11 p., 1977.

Fioreze, S. L.; Pivetta, L. G.; Fano, A.; Machado, F. R.; Guimarães, V. F. **Comportamento De Genótipos De Soja Submetidos a Déficit Hídrico Intenso Em Casa De Vegetação.**" *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.

Freitas, M. A. **CULTURA DA SOJA NO BRASIL: O CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA E O SURGIMENTO DE UMA NOVA FRONTEIRA AGRÍCOLA**. *ENCICLOPEDIA BIOSFERA*, v. 7 n. 12 (2011): EDIÇÃO Vol. 07 Nº 12 – 2011.

Ghasemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S. et al. **Impact of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on plant growth, antioxidant defense systems, and osmolyte accumulation of maize under water stress**. *Sci Rep* 12, 14648, 2022.

HU, Y.; BAO, F.; LI, J. **Promotive effect of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD3-induction pathway in Arabidopsis**. *The Plant Journal*, v. 24, n. 5, p. 693–701, dez. 2000.

Khan, R.; Ma, X.; Hussain,Q.; Asim, M.; Iqbal, A.; Ren, X.; Shah,S.; Chen, K.; Shi, Y. **Application of 2,4-Epibrassinolide Improves Drought Tolerance in Tobacco through Physiological and Biochemical Mechanisms**. *Biology* 2022, 11, 1192.

Lima, J. V., and A. K. S Lobato. **Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water déficit**. *Physiology and molecular biology of plants* 23, no. 1 .2017.

Nepomuceno, A. L.; Farias, J. R. B.; Neumaier, N. **Características da soja**. 2021. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao->

tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>. Acesso em: 08 jul. 2023.

NOLAN, T. M.; VUKASINOVIC, N.; LIU, D.; RUSSINOVA, E.; YIN, Y. **Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses**. The Plant Cell, v.32, p.295-318, 2020.

Nunes, A. C.; Francisco, M. L. B.; Silva, R. A.; Da Silva, J. L.C.; Goncalves, F. B.; Santos, G. A. **Agronomic Aspects of Soybean Plants Subjected to Deficit Irrigation/Aspectos Agronomicos De Plantas De Soja Submetidas a Deficit Hidrico**. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental 20.7, 2016.

Papaleo, V.T; Botelho, R. As propriedades de proteína de soja na alimentação humana. Universidade de Brasília, Centro de excelência em turismo, Brasília, 2004

PEIXOTO, C. P. **Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática**. 1. ed. - Rio de Janeiro: Pod, 2020.

Pereira, Y. C., Rodrigues, W. S., Lima, E. J. A., Santos, L. R., Silva, M. H. L., & Lobato, A. K. S. **Brassinosteroids increase electron transport and photosynthesis in soybean plants under water deficit**. Photosynthetica, v. 57, n. 1, 2019.

Pereira, Y. C.; Silva, F. R.; Silva, B. R. S.; Cruz, F. J. R.; Marques, D. J.; Lobato, A. K. S. (2020). **24-epibrassinolide induces protection against waterlogging and alleviates impacts on the root structures, photosynthetic machinery and biomass in soybean**. Plant Signaling & Behavior, 15(11), 24.

Petry, M. T.; Basso, L. J.; Carlesso, R.; Armoa, M. S.; Henkes, J. R. **MODELING YIELD, SOIL WATER BALANCE, AND ECONOMIC RETURN OF SOYBEAN UNDER DIFFERENT WATER DEFICIT LEVELS**. Engenharia Agrícola 2020, Volume 40 Nº 4 Páginas 526 - 535

Rocha, R. S., Silva, J. A. L. D., Neves, J. A., Sedyama, T., & Teixeira, R. D. C. **Desempenho agrônômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI**. Revista Ciência Agronômica, 43, 2012. P 154-162.

SEIXAS, C. D. S., Neumaier, N., Balbinot Junior, A. A., Krzyzanowski, F. C., Leite, R. D. C., & DE C, R. M. V. B. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: EMPRAPA Soja, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 420 p., 2017.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. **Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019.

VERNETTI, F. de J.; GASTAL, M. F. da C. **Descrição botânica da soja**. 1979.

YIN, W. et al. **Brassinosteroid-regulated plant growth and development and gene expression in soybean**. The Crop Journal, v. 7, n. 3, p. 411-418, 2019.

Zhang, M; et al. **Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (Glycine max L.)**. Plant Growth Regulation, v.56, n.3, p. 257 – 264, 2008.

ZULLO, M. A. T.; ADAM, G. **Brassinosteroid phytohormones: structure, bioactivity and applications**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 14, p. 143-181, 2002.

7. APÊNDICE

O presente trabalho foi desenvolvido durante o acompanhamento do experimento do discente de mestrado André Lucas, cuja dissertação resultou na publicação do artigo:

24-Epibrassinolide promotes activation of physiological compensation mechanisms in response to drought stress and rehydration and improves yield in soybean no periódico Journal of Agronomy and Crop Science.

<https://doi.org/10.1111/jac.12628>