



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA BACHARELADO

DANIEL CUTRIM DINIZ

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM SOJA TRATADA COM BRASSINOSTEROIDE E
SUBMETIDA A DÉFICIT HÍDRICO NO ESTÁDIO VEGETATIVO**

SÃO LUÍS

2023

DANIEL CUTRIM DINIZ

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM SOJA TRATADA COM BRASSINOSTEROIDE E
SUBMETIDA A DÉFICIT HÍDRICO NO ESTÁDIO VEGETATIVO**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Estadual do
Maranhão, como requisito para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz

Coorientador: Dr. Sebastião de Oliveira Maia
Júnior

SÃO LUÍS

2023

Diniz, Daniel Cutrim.

Aspectos fisiológicos em soja tratada com brassinosteroide e submetida a déficit hídrico no estágio vegetativo / Daniel Cutrim Diniz. – São Luís, 2023.

... f

Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientador: Prof. Dr.Tiago Massi Ferraz.

1.Trocas gasosas. 2.Escassez de água. 3.Biorregulador. I.Título.

CDU: 633.34-026.72

Elaborado por Francisca Elany Régia Sousa Lopes - CRB 13/754

DANIEL CUTRIM DINIZ

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM SOJA TRATADA COM BRASSINOSTEROIDE E
SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO NO ESTÁDIO VEGETATIVO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do
Centro de Ciências Agrárias da Universidade
Estadual do Maranhão, como requisito para
obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a).

Aprovada em: 20/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz – Orientador
Departamento/CCA/UEMA

Profª. Drª. Jailma Ribeiro de Andrade – Examinadora
Departamento/CCA/UEMA

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis – Examinador
Departamento/CCA/UEMA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelas bênçãos que me concedeu e pelo conforto nos momentos mais difíceis que passei até hoje.

Aos meus pais Antônio Carlos Nogueira Diniz e Adriana Cutrim Diniz, que sempre batalharam para me proporcionarem o melhor, sempre me apoiaram nas minhas decisões e me doam muito do seu amor todos os dias.

À minha querida irmã Sara Cutrim Diniz, que eu amo profundamente e que me inspira a sempre buscar fazer meu melhor.

À minha namorada Ingrid Raquel Melo Costa, por todo o amor e carinho que me deu até hoje, pelo seu apoio em momentos em que me encontrava, triste, ansioso, coisas que só você sabia que eu estava assim, lhe amo muito e espero estar ao seu lado vendo você conquistar tudo aquilo que sonha fazer na sua vida.

Aos amigos que fiz na graduação Idenilson, Airton, Lucas Nogueira, Giselle, Kalyne, Girlene, Danielle, Thainá, Cerqueira Neto, Iasmym, Matheus Henrique, Karoline, Tharcisio, Rodrigo, Matheus Barata, Victor Ribeiro, Karoline Carvalho, Caio, Maycon, Ramon, Natália, Gabriel Coelho, Rodolfo, entre tantos outros, que me proporcionam momentos felizes e de muito conhecimento, acredito que cada um foi importante em um momento da minha vida e torço para o sucesso de todos.

A todos os professores que se empenharam em me transmitir o seu conhecimento, em especial alguns que foram muito além disso e me deram conselhos em momentos fundamentais da minha graduação.

À Universidade Estadual do Maranhão por conceder recursos para que o projeto apresentado nesse trabalho de conclusão de curso, fosse concluído, além dos ambientes para que eu desenvolvesse minha formação e meus trabalhos.

Ao Prof Dr Tiago Massi Ferraz por ter aceitado a orientação e pela disponibilidade dos equipamentos utilizados na pesquisa

A toda equipe do Laboratório de Ciências Ambientais e Biodiversidade, que eu conheci nessa etapa final da minha graduação, mas que me proporcionaram momentos bem descontraídos e um ambiente de muito conhecimento, que me agregou muito tanto na minha área profissional, como na pessoal, dentre eles destaco o Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior, um profissional brilhante e que me prestou um apoio gigantesco, sou muito grato pela sua orientação no meu trabalho, me fez ter uma outra visão em relação ao mundo científico, desejo

muito sucesso na sua vida e que o senhor continue despertando o desejo de aprender em outros alunos.

Quando tudo parecer estar contra você, lembre-se que o avião decola contra o vento não com a ajuda dele

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa de ampla utilidade no mercado, pois, pode ser utilizada tanto na agroindústria de produção de alimentos como na produção de rações, onde recebe um destaque pelo seu alto valor proteico. Além disso, é utilizada para produção de biocombustíveis, possuindo um grande destaque na economia mundial. Porém, o déficit hídrico pode ser um dos grandes fatores limitantes para o desenvolvimento dessa cultura. Assim, o presente trabalho busca entender como o uso do biorregulador brassinosteróide pode influenciar na atenuação do efeito do déficit hídrico em plantas de soja. Para isso foram avaliadas plantas de soja que receberam aplicação de diferentes concentrações de brassinosteróides (0, 50, 100, 150 e 200 nM) nas sementes que, posteriormente, foram semeadas em vasos em casa de vegetação e submetidas ao déficit hídrico. O brassinosteróide promoveu respostas positivas na planta, pois a aplicação do hormônio permitiu uma mitigação dos danos causados pelo déficit hídrico, quando comparado aos tratamentos onde não foram utilizados o biorregulador. A concentração de 100 nM foi considerada a concentração ideal para se utilizar no preparo de sementes da soja, pois resultou no aumento da assimilação fotossintética de CO₂, conteúdo relativo de água, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso da água, eficiência da carboxilação e massa seca total, além de reduzir concentração interna de carbono na folha, quando comparadas com as plantas sem aplicação do brassinosteróide.

Palavras chave: Trocas gasosas, escassez de água, biorregulador

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is a legume that is widely used in the market, as it can be used both in the food production agroindustry and in feed production, where it is highlighted for its high protein value. In addition, it is used for the production of biofuels, having a great prominence in the world economy. However, water deficit can be one of the major limiting factors for the development of this crop. Thus, the present work seeks to understand how the use of the bioregulator brassinosteroid can influence the attenuation of the effect of water deficit in soybean plants. Soybean plants that received different concentrations of brassinosteroids (0, 50, 100, 150 and 200 nM) were evaluated in the seeds that were later sown in pots in a greenhouse and submitted to water deficit. Brassinosteroid promoted positive responses in the plant, as the application of the hormone allowed a mitigation of damage caused by water deficit, when compared to treatments where the bioregulator was not used. The 100 nM concentration was considered the ideal concentration to be used in the preparation of soybean seeds, as it resulted in increased photosynthetic CO₂ assimilation, relative water content, stomatal conductance, transpiration, water use efficiency, carboxylation efficiency and total dry mass, in addition to reducing internal carbon concentration in the leaf, when compared to plants without brassinosteroid application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea da casa de vegetação pertencente ao programa de Pós graduação em Agroecologia da UEMA.....	20
Figura 2. Apresentação do estande de plantas dentro da casa de vegetação (A) e destaque do vaso (parcela) contendo duas plantas (B).	22
Figura 3. Metodologia de manejo da irrigação (A) e sensor de umidade modelo TDR-315H, Acclima, Idaho, USA, que foi utilizado para determinar a umidade do solo durante o manejo da irrigação e a imposição das condições de déficit hídrico (B). PSS = Peso de solo seco; LSS = Leitura de solo seco; PSU = Peso de solo úmido; LSU = Leitura de solo úmido.	22
Figura 4. Processo de embebição das sementes com brassinosteróide	23
Figura 5. Resposta da planta ao déficit hídrico com umidade de 20% (A) e planta devidamente irrigada (B).	23
Figura 6. Sistema portátil de medições de trocas gasosas, IRGA modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, USA).	24
Figura 7. Conteúdo relativo de água (CRA) em plantas de soja com embebição das sementes em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 6 DAE.	26
Figura 8. Assimilação fotossintética de CO ₂ (A) e Concentração de carbono interno (Ci) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.	28
Figura 9. Condutância estomática (gs) e Transpiração (E) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.	30
Figura 10. Eficiência do uso da água (EUA) e Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.	32
Figura 11. Massa seca da folha (MSF), Massa seca do caule (MSC), Massa seca da raiz (MSR) e Massa seca total (MST) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Soja: descrição botânica.....	14
3.2 Fenologia da soja.....	16
3.3 Respostas fisiológicas das plantas ao déficit hídrico	17
3.4 Uso de brassinosteroide como atenuador dos efeitos do déficit hídrico nas plantas	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Caracterização do ambiente experimental	20
4.2 Delineamento experimental	20
4.3 Instalação e condução do experimento	21
4.4 Preparo das sementes com o análogo de Brassinosteroide	22
4.5 Imposição dos regimes hídricos	23
4.6 Avaliações do experimento.....	23
4.7 Análise estatística	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6 CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil é destinada em sua maioria para produção de farelo, utilizado como fonte rica em proteínas para a nutrição animal, e óleo destinado ao consumo humano, mas que atualmente também tem se destinado às indústrias para produção de biocombustíveis (MELO, 2018).

O Brasil atualmente é o maior produtor da cultura, seguido de Estados Unidos e Argentina. O país possui uma produção estimada em 155.736,5 mil toneladas de grãos de soja, em uma área plantada de 44.031,7 mil ha, correspondendo a uma produtividade de 3.537 kg/ha. Em relação ao estado do Maranhão a produção estimada nessa safra 2022/2023 é de 3,77 milhões de toneladas, o que corresponderia a um aumento de 5,5% comparada a safra anterior, a área plantada no estado também houve um aumento que correspondeu a 3,4% comparada a safra anterior, sendo projetada em 1,1 milhão de ha. Com isso, o estado alcança uma produtividade de 3.392 kg/ha (CONAB, 2023).

Devido a variabilidade das condições climáticas no país, sobretudo nas regiões do MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que é considerada uma das novas fronteiras agrícolas da soja no país, porém que sofre com condições de restrição hídrica que afetam a produtividade da soja nessas regiões. Diante disso, o déficit hídrico constitui o principal estresse abiótico que afeta a fisiologia, morfologia e produtividade da soja. Durante a fase vegetativa, a soja necessita acumular um número mínimo de massa seca na parte aérea, para que a planta alcance um rendimento elevado de produtividade, porém, ao passar por períodos de déficit hídrico, a soja tende a alterar o seu metabolismo e consequentemente processos como a divisão celular, iniciação de novos tecidos e alongação celular são afetados, além da assimilação fotossintética de CO₂ (THOMAS & COSTA, 2010). Dessa maneira, a planta tem um menor crescimento, e como consequência um menor número de nós, local onde ocorre a formação de vagens, e assim sofre redução no número de vagens, resultando em menor produção de grãos (MACHADO, 1981; BOARD & MODALI, 2005).

Em virtude disso, os brassinosteroides, um grupo de hormônio vegetais, que possui atuação em diversos mecanismos fisiológicos da planta vêm sendo bastante utilizado para minimizar os danos causados pelo déficit hídrico em diversas espécies de plantas, como milho (DESOKY et al., 2021), soja (PEREIRA et al., 2019), pimenta (KHAMSUK et al., 2018), amendoim (HUANG et al., 2020) e uva (WANG et al., 2015). Dentro do grupo de brassinosteroides o 24-epibrassinolídeo é apontado como o mais bioativo, um biorregulador

que funciona em baixas dosagens e possui uma rápida translocação aos órgãos da planta, resultando em respostas mais rápidas onde é aplicado e tem sua utilização atribuída a atenuação do estresse na planta.

A hipótese desse trabalho é que o uso de brassinosteróide de forma exógena em plantas de soja pode atenuar os efeitos negativos causados pelo déficit hídrico, mitigando as reduções nas trocas gasosas, no estado hídrico e no acúmulo de biomassa em plantas de soja no estágio vegetativo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Estudar os efeitos de brassinosteróide na atenuação dos danos causados pelo déficit hídrico em plantas de soja.

2.2 Objetivos específicos

- Encontrar a concentração ideal de brassinosteróide capaz de atenuar os efeitos do déficit hídrico em plantas de soja no estágio vegetativo;
- Entender as respostas das plantas de soja com aplicação de brassinosteróide em relação às trocas gasosas e à produção de biomassa na fase vegetativa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Soja: descrição botânica

A soja tem como nome científico *Glycine max* (L.) Merrill, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae e subtribo Glycininae (LEWIS et al., 2005; JUDD et al., 2009). Müller (1981) expõe algumas características gerais relacionados a essa espécie, que podem mudar de acordo com a cultivar e as condições ambientais. É uma planta anual que possui reprodução autógama e ciclos de cultura variando de 75 dias, para as cultivares mais precoces, até 200 dias nas cultivares mais tardias. A germinação se inicia com a absorção de água pela semente, ocorrendo o alongamento da radícula e suas estruturas secundárias. Posterior a esse processo, ocorre o desenvolvimento do hipocótilo e liberação dos cotilédones, esses cotilédones, quando em contato com a luz, começam a produzir pigmentos fotossintéticos e concentrar a cor verde, surgindo posteriormente o primeiro par de folhas entre os cotilédones que, com o desenvolvimento do epicótilo, entram em posição horizontal e as folhas primárias se desenvolvem, seguida das folhas secundárias (LERSTEN & CARLSON, 2004).

A raiz da planta de soja possui características das plantas eudicotiledôneas, com raiz principal e raízes secundárias que tem origem endógena, formadas a partir do cilindro central. Estas raízes secundárias possuem diâmetro menor do que aquela que lhe deu origem, é importante destacar que de acordo com as condições de solo e disposição de plantas a forma desse sistema radicular pode mudar (MÜLLER, 1981; LERSTEN & CARLSON, 2004).

A característica de geotropismo positivo, a lubrificação e a flexibilidade da raiz da soja permitem que a planta consiga buscar água e nutrientes em profundidades maiores no solo, onde a raiz se movimenta através dos poros e canais que podem ser formados através da decomposição de raízes de cultivos anteriores (VEPRASKAS, 1994). A produção de nódulos nas raízes, que é uma característica das plantas leguminosas, também ocorre na soja e começam a ser identificadas a partir do estágio V1 e V2 da planta. O processo de nodulação se inicia com a raiz liberando compostos que estimulam a produção das bactérias do gênero *Bradyrhizobium* em nódulos, que, quando estão fixando o nitrogênio atmosférico, possuem uma coloração rosa, devido a leg hemoglobina (CÂMARA, 1998; NOGUEIRA et al., 2009; SEDIYAMA, 2009).

O caule da soja se desenvolve a partir do eixo embrionário e seu crescimento tem início com o desenvolvimento do epicótilo e com a formação dos nós, onde se dará origem a uma folha, que em sua axila surge uma gema lateral, que poderá formar uma ramificação ou uma

inflorescência que mais tarde se tornará uma vagem, tais características são determinadas pela genética da cultivar e/ou a disposição da planta no campo (MÜLLER, 1981).

A soja possui crescimento ortotrópico, ou seja, o caule se desenvolve em um eixo vertical e, dependendo da cultivar utilizada, é possível observar diferentes tipos de crescimento (Determinado e Indeterminado) e hábito de crescimento (Ereto, semi-ereto e prostado) no caule. Em condições de baixa luminosidade e fotoperíodo longo, seu caule se torna volúvel e tem uma grande taxa de crescimento, sendo necessário o tutoramento (NOGUEIRA et al. 2009).

A estrutura do hipocótilo é considerada um espaço de transição entre a raiz e o caule, a presença (hipocótilo roxo) ou ausência de antocianina (hipocótilo verde) nessa estrutura é uma importante característica que auxilia no processo de diferenciação de cultivares, vale destacar que o mesmo gene que caracteriza a cor dessa estrutura determina a cor da flor, apresentando pleiotropia entre essas duas características, uma vez que a ausência de antocianina representa plantas com flores brancas e a presença determinaria plantas de flor roxa (BELTRATI E PAOLI, 2003).

A soja durante seu ciclo de vida desenvolve quatro tipos de folhas: Cotiledonares, unifoliadas, trifoliadas e prófilos, e a coloração dessas folhas, além de serem determinadas pela genética da cultivar, também pode ser resultado da nutrição nitrogenada e de ferro, a intensidade do verde das folhas é um descritor para as variedades de soja (MÜLLER, 1981; MAPA, 2013).

As folhas cotiledonares contêm reservas que contribuem para o desenvolvimento da plântula, quando essas reservas acabam as folhas morrem e são descartadas pela planta (LERSTEN, CARLSON, 2004; MÜLLER, 1981).

As folhas unifolares se formam no primeiro nó acima das cotiledonares, são simples e se posicionam de forma oposta, já as folhas trifolares, como o próprio nome diz, possuem três folíolos, características anfiestomáticas e se posicionam de forma alternada pela planta (MÜLLER, 1981).

Por fim, os prófilos, que são pequenas folhas que geralmente não passam de 5 mm, são simples e não possuem pecíolo, são encontradas na base dos ramos um par dessas folhas (CARLSON, 1973). Em relação aos pecíolos eles variam seu tamanho de acordo com a cultivar, nas folhas unifolioladas eles são menores e nas cotiledonares eles possuem características sésseis (MÜLLER, 1981).

A flor da planta de soja possui tanto as estruturas masculinas como as femininas, sendo então caracterizada como uma flor completa que se desenvolve em racemos axilares ou nós terminais formando entre 2-35 flores por inflorescência, naturalmente sendo necessário um

estímulo fisiológico para que essas flores se formem. Isso ocorre no ambiente de dias curtos, porém essas características podem mudar de acordo com a cultivar utilizada (SEDIYAMA, 2009; NOGUEIRA et al., 2009).

Em geral as plantas possuem autofecundação e esse procedimento ocorre antes do botão floral abrir, mecanismo denominado de cleistogamia. O fruto da soja é considerado do tipo vagem, crescendo até os 20-25 dias após a floração, onde chegam no seu tamanho máximo, assim como as sementes que se encontram no interior dessas vagens, porém, no processo de maturação essas sementes diminuem seu tamanho devido a perda de água e o acúmulo de compostos de reserva, em cada vagem pode ser encontrado até 5 sementes, dependendo da cultivar, mas as mais comuns no mercado produzem 3 sementes por vagem. (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA, 1985; CARRETERO, 2011).

3.2 Fenologia da soja

A descrição fenológica de uma planta é de suma importância para a organização das atividades a serem realizadas em uma cultura, tanto na área comercial como na pesquisa, permitindo que sejam feitas comparações entre cultivos que estão desenvolvidos em diferentes localidades, para isso é necessário que essas descrições fenológicas sejam únicas, precisas e universais.

No que diz respeito a soja a descrição fenológica que é aceita de forma internacional é a de FEHR E CAVINES (1977), na qual caracteriza as fases dessa cultura de acordo com as suas folhas, flores e desenvolvimento de vagens. Nessa descrição é demonstrado a soja dividida em dois períodos, onde a primeira fase de desenvolvimento da soja se encontra os estádios vegetativo, que se inicia com emergência do cotilédone do solo e outras são determinadas a partir dos nós da haste principal, já a segunda fase de desenvolvimento da soja corresponde aos estádios reprodutivo da planta onde é analisado as flores e desenvolvimento de vagens. O tempo entre as fases de desenvolvimento da soja variam de acordo com a interação do fator genético e o ambiente, dentro do ambiente o fotoperíodo tem influência direta nas fases da planta e é de suma importância para a indução floral, plantas que possuem um período juvenil mais curto, geralmente tem essa indução iniciada nas folhas unifoliadas, já as de período mais longo, tem essa indução iniciada entre as fases V6 e V8 (FEHR e CAVINES, 1977; SEDIYAMA, 2009).

O ciclo total dessa cultura varia de 70 a 200 dias, sendo que no Brasil as mais utilizadas são as de 90 a 150 dias variando de acordo com o seu grupo de maturação que vai se diferenciando do Norte para o Sul do país e as cultivares que melhor se adaptaram são as de dias longos que são fruto dos programas de melhoramento genético que buscavam firmar a produção de soja no Brasil, uma vez que, naturalmente a soja era uma planta de dias curtos que só tinha um melhor resultado nas condições sul do país, mas não possuía um bom desenvolvimento nas condições ambientais das outras regiões do país, então só a partir do melhoramento foi possível obter plantas adaptadas as condições de dias longos e ter melhores resultados nas produções de soja nacional (EMBRAPA, 2011).

3.3 Respostas fisiológicas das plantas ao déficit hídrico

O déficit hídrico em plantas é caracterizado como uma condição onde as taxas de transpiração superam as taxas de absorção de água pela planta, ou seja, a resposta a esse déficit está diretamente ligada a quantidade de água que é perdida pela planta principalmente no processo de transpiração e a duração dessa condição. Como mecanismo de defesa, a planta tende a executar processos que reduzem principalmente a taxa de transpiração, principal via de perda de água, como a redução da área foliar, enrolamento foliar e fechamento estomático (TAIZ E ZEIGER et al., 2017).

O déficit hídrico é o estresse abiótico mais recorrentes nos sistemas produtivos agrícolas e influencia negativamente a produtividade, podendo causar danos irreversíveis a planta, principalmente na fase vegetativa. Nesse período, o estresse pode afetar a área foliar e o número de nós na planta, resultando em menor produção de massa seca, enchimento de grão e produtividade (MACHADO, 1981; BOARD & MODALI, 2005; ZHENG et al., 2016).

O conteúdo relativo de água (CRA), é uma variável importante para se entender as condições de hidratação da planta, muito utilizado nas condições de déficit hídrico para entender como o processo de desidratação das folhas ocorre (LANGARO, 2014). Rosa et al. (2020), estudando os efeitos do déficit hídrico em duas cultivares de soja, observou que tanto no déficit hídrico moderado como severo, houve a redução nos resultados de conteúdo relativo de água, com reduções mais acentuadas quando a intensidade do déficit é mais elevada (ROSA et al., 2020).

A restrição hídrica causa efeitos negativos nas trocas gasosas, uma das respostas da planta ao perceber a condição do déficit hídrico, é a redução da condutância estomática (gs), como

mecanismo para evitar as perdas de água, reduzindo o processo de transpiração (E) da planta. Porém, como a absorção de CO₂ pela planta ocorre pelas estruturas dos estômatos, esse fechamento estomático acaba por resultar em uma redução do carbono interno (Ci) na planta, que no caso é a matéria prima para o processo fotossintético de carboxilação que consiste na fixação desse carbono inorgânico em formas de carbono orgânico. Em condições de estresse mais severos é possível observar redução na eficiência do processo de carboxilação e assim o carbono inorgânico que é absorvido acaba por ficar estocado nas estruturas da planta. Por fim, o processo fotossintético tem relação com a síntese de compostos orgânicos, sendo a redução da fotossíntese responsável pela redução no acúmulo de biomassa (HUANG et al., 2020; KHAN et al., 2020). Nos estudos de Pereira et al. (2019), trabalhando com soja e de Lima e Lobato (2017) com feijão de corda comparando plantas submetidas ao déficit hídrico e irrigado, observa-se que plantas sob déficit hídrico apresentam reduções significativas na taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, eficiência do uso da água e eficiência da carboxilação, além do acúmulo de carbono interno e diminuição de biomassa na planta, podendo influenciar na produção de grãos de soja.

3.4 Uso de brassinosteroide como atenuador dos efeitos do déficit hídrico nas plantas

Brassinosteroide é um grupo de hormônios caracterizado como um esteroide polihidroxiado lipossolúvel, tendo a primeira identificação realizada em grãos de pólen de plantas de *Brassica napus* (canola). Característico dos fitormônios encontrados em pequenas concentrações na planta, o brassinosteroide é encontrado em diversas regiões das plantas, mas com maiores concentrações no pólen, sementes imaturas e frutos (TAIZ E ZEIGER et al., 2017). Entre os brassinosteroides, os brassinolídeos são os mais ativos no metabolismo das plantas, e por apresentar características lipossolúveis, que permitem uma fácil mobilidade na membrana celular, com isso rapidamente se pode observar as respostas da planta a aplicações exógenas do brassinolídeo (TAIZ E ZEIGER et al., 2017).

Existe uma grande influência do brassinolídeo em diversos processos que ocorrem dentro da planta, abrangendo o crescimento dos tecidos vegetais, germinação, desenvolvimento reprodutivo, senescência foliar, mecanismos de resistência a fatores tanto bióticos como abióticos, além de possuir relação com a síntese de outros fitormônios da planta (TAIZ E ZEIGER et al., 2017).

Diversas pesquisas demonstram que aplicações exógenas do brassinolídeo podem causar atenuação dos efeitos do déficit hídrico nos processos fisiológicos da planta, buscando minimizar as perdas na produtividade, como foi observado em estudos com pimenta (KHAMSUK et al., 2018), amendoim (HUANG et al., 2020), soja (PEREIRA et al. 2019) e trigo (KHAN et al., 2020).

Lima e Lobato (2017), com aplicação via foliar do brassinolídeo em feijão de corda, observaram que no tratamento com seca quando adicionado o biorregulador houve atenuação dos efeitos do déficit hídrico, apresentando melhoria nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, quando comparado aos tratamentos sob déficit hídrico sem aplicação do biorregulador. O mesmo aconteceu no estudo de Pereira et al. (2019), que observaram melhoria das trocas gasosas com aplicação via foliar em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico. Da mesma maneira, Huang et al. (2020), avaliando amendoim tratado com brassinosteróide no preparo de sementes, obtiveram melhoria na produção de massa seca em plantas estressadas aos 7 e 14 dias após o déficit hídrico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Campus Paulo VI, São Luís, coordenadas 2° 59'19" S, 44° 21'20" W, em casa de vegetação pertencente ao programa de pós graduação em Agroecologia da UEMA (Figura 1A).



Figura 1. Vista aérea da casa de vegetação pertencente ao programa de Pós graduação em Agroecologia da UEMA

4.2 Delineamento experimental

Nesse estudo foi feita a combinação dos fatores regimes hídricos e concentrações de brassinosteroide. O fator regime hídrico foi constituído por duas condições hídricas: Irrigada (Controle) e déficit hídrico. O fator brassinosteroide foi constituído por cinco concentrações de um análogo ao brassinosteroide (24-Epibrassinolideo) nas concentrações de 0, 50, 100, 150 e 200 nM. Foi utilizada a variedade Mamoré IPRO para submeter aos dois regimes hídricos e às concentrações do biorregulador, utilizando o esquema fatorial 2x5, com três repetições. Dessa maneira, o experimento foi composto por dez tratamentos, sendo as parcelas constituídas por um vaso com duas plantas, totalizando 30 unidades experimentais.

4.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos de 5 litros, na casa de vegetação do Programa de Pós-graduação em Agroecologia da UEMA, no período compreendido entre os meses de outubro e dezembro de 2022. O solo utilizado como substrato para a condução do experimento foi coletado numa área pertencente a Fazenda escola – FESL da UEMA, posteriormente foi peneirado para a remoção de torrões e materiais indesejados.

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 8 sementes de soja por vaso, sendo realizado o desbaste aos 7 dias após semeadura.

A irrigação foi feita pela metodologia de Morales et al. (2015), onde foi mantida a umidade na capacidade de campo e posteriormente na umidade em 50%, e a 20% da capacidade de campo, com o auxílio de um sensor modelo TDR-315H, Acclima, Idaho, USA. Os vasos foram preenchidos com solo seco ao ar livre e foi instalado o sensor SM200, obtendo-se o peso seco e leitura de umidade com o sensor, em seguida, os mesmos foram saturados e, após o término da percolação foram pesados, obtendo-se o peso úmido e uma segunda leitura de umidade do solo, a diferença entre peso seco e úmido foi atribuída à capacidade de armazenamento de água no vaso, sendo considerado que 1,0 g equivale a 1 mL da capacidade de armazenamento de água nos vasos (MORALES, 2015).

Após o estabelecimento das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plântulas por vaso. Dentre estas duas plântulas uma foi escolhida para a avaliação das características fisiológicas, seguido de análise destrutiva.

A)



B)



Figura 2. Apresentação do estande de plantas dentro da casa de vegetação (A) e destaque do vaso (parcela) contendo duas plantas (B).

A)



B)



Figura 3. Metodologia de manejo da irrigação (A) e sensor de umidade modelo TDR-315H, Acclima, Idaho, USA, que foi utilizado para determinar a umidade do solo durante o manejo da irrigação e a imposição das condições de déficit hídrico (B). PSS = Peso de solo seco; LSS = Leitura de solo seco; PSU = Peso de solo úmido; LSU = Leitura de solo úmido.

4.4 Preparo das sementes com o análogo de Brassinosteroide

O regulador vegetal utilizado foi um análogo do brassinosteroide (24- epibrassinolideo) da marca Sigma Aldrich. Um total de 120 sementes de soja passaram por um processo de sanitização com embebição em hipoclorito de sódio por quinze minutos, posteriormente foram divididas em cinco placas de petri, cada uma representando uma concentração de 24 epibrassinolídeo, essas sementes foram imersas nas diferentes concentrações do 24

epibrassinolídeo por 24 horas, onde na concentração de 0 nM, as sementes foram embebidas somente em uma solução com álcool e água destilada, posteriormente, secas por igual período, e logo em seguida semeadas.

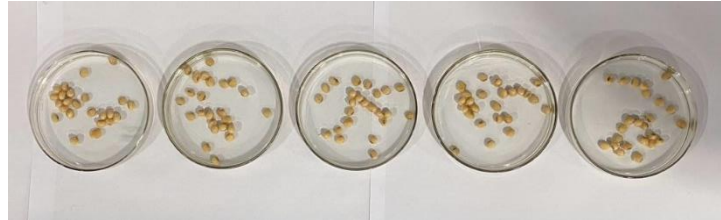


Figura 4. Processo de embebição das sementes com brassinosteróide

4.5 Imposição dos regimes hídricos

A irrigação das plantas de soja foi realizada mantendo a umidade próxima à capacidade de campo, até as plantas atingirem os 25 dias após a semeadura (DAS), quando a irrigação foi reduzida gradativamente momento em que foi imposto o déficit hídrico, chegando a 50% considerado um estresse moderado e descendo até a umidade do solo chegar a 20% que foi considerado um estresse severo.

A)



B)



Figura 5. Resposta da planta ao déficit hídrico com umidade de 20% (A) e planta devidamente irrigada (B).

4.6 Avaliações do experimento

Foi feita a avaliação das variáveis relacionadas as trocas gasosas, tais como: Fotossíntese (P_n), transpiração (E), concentração de carbono interno (C_i), condutância

estomática (gs) em três épocas de cultivo, antes do déficit hídrico, quando as plantas estavam a 50% (Três dias após estresse – DAE) e a 20% (6 DAE) da capacidade de campo com o auxílio de um sistema portátil de medições de trocas gasosas modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, USA). Com esses resultados foi possível calcular a eficiência do uso da água (EUA) que corresponde a razão P_n/E e a eficiência instantânea da carboxilação (EIC) que é representada pela razão P_n/C_i .

Ademais, foi coletados dados referentes ao conteúdo relativo de água nas plantas, para isso, foi seguida a metodologia descrita por Turner (1981). Foram coletados seis discos foliares com 6 mm de diâmetro da terceira folha trifoliolada, esses discos foram pesados e com isso se obteve o peso fresco (PF). Posteriormente os discos foram colocados em água para saturação durante 24 horas, após esse período foi coletado o peso túrgido dos discos (PT). Em seguida, os discos saturados foram então pesados novamente e secos para determinar o peso seco (PS). Por fim, foi calculado o conteúdo relativo de água (CRA), que foi obtido pela fórmula: $CRA (\%) = ((PF-PS) / (PT-PS)) \times 100$.

Ao final do experimento foi avaliada a produção de massa seca de folhas, caule, raiz e total, após a secagem dos órgãos vegetais em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até peso constante.



Figura 6. Sistema portátil de medições de trocas gasosas, IRGA modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, USA).

4.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, sendo as médias das concentrações de brassinosteroide e dos regimes hídricos comparadas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o programa Sisvar 5.6.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo relativo de água (CRA) nas condições de déficit hídrico foi possível observar que na concentração de 100 e 50 nM esse conteúdo foi maior. Com isso foi possível observar benefícios do brassinosteróide quando comparados aos tratamentos onde não foram aplicados o biorregulador (Figura 7).

Em condição de déficit hídrico a planta está perdendo água por transpiração constantemente. Quando percebe o estresse, na tentativa de reduzir essa perda de água ela fecha os estômatos. Dessa maneira, como estratégia de tolerância são desenvolvidos mecanismos para reduzir a perda de água, como o fechamento dos estômatos, que por um lado reduz as perdas, porém diversos processos fisiológicos são afetados, entre eles a assimilação fotossintética de CO₂ (TAIZ E ZEIGER et al., 2017). Rosa et al. (2020), submetendo duas cultivares de soja a condições de déficit hídrico, observaram reduções no conteúdo relativo de água nas plantas, tanto sob estresse moderado quanto severo, em que nessa última condição as reduções foram ainda mais acentuadas.

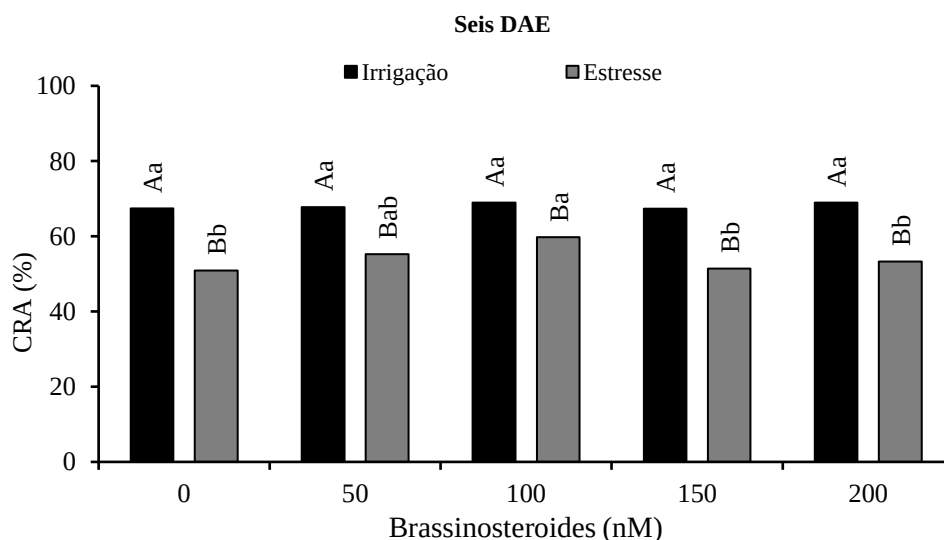


Figura 7. Conteúdo relativo de água (CRA) em plantas de soja com embebição das sementes em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 6 DAE.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes hídricos nas mesmas concentrações de brassinosteróide e letras minúsculas indicam diferença entre as concentrações no mesmo regime hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todas as variáveis de trocas gasosas, Assimilação fotossintética de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência interna da carboxilação (EiC) analisadas aos 0 DAE (dias após estresse), não apresentaram diferenças significativas entre as concentrações de brassinosteroides e nem entre regimes hídricos (Figuras 8A, 8D, 9A, 9D; 10A e 10D).

No entanto, aos 3 DAE foi observado diferença significativa para a Assimilação fotossintética de CO₂ entre os regimes hídricos e concentrações de brassinosteroides (Figura 8B). Na condição de déficit hídrico, houve diferença entre as concentrações, nas plantas tratadas com 50, 100 e 200 nM de brassinosteroides a fotossíntese apresentou resultados elevados, apesar que a concentração de 50 e 200 nM não diferiram das concentrações que foram de 0 e 150 nM. Da mesma forma, aos 6 DAE foi observado diferenças significativas entre regimes hídricos e concentrações de brassinosteroides. No déficit hídrico, na concentração 100 e 200 nM a assimilação fotossintética de CO₂ apresentaram resultados mais elevados, porém a concentração de 200 nM não diferiu dos resultados encontrados nas concentrações de 0, 50 e 150 nM (Figura 8C).

A redução da assimilação fotossintética de CO₂ nas condições de déficit hídrico também foi observada no trabalho de Rosa et al. (2020), que estudaram as respostas de duas linhagens de soja sobre condições de déficit hídrico. Contudo, a assimilação fotossintética de CO₂ em condições de déficit com aplicação de brassinosteróide foram maiores, quando comparadas com a condição de déficit sem brassinosteróide. Essas respostas são semelhantes as encontradas em estudos com plantas de soja, pimenta e feijão de corda tratadas com a aplicação do fitorregulador brassinosteróide via foliar (LIMA; LOBATO, 2017; KHAMISUK et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Para a concentração interna de CO₂ aos 3 DAE foi observado diferença significativa entre regimes hídricos e concentrações de brassinosteroides. Nas plantas sob estresse hídrico, na concentração de 100 nM o carbono interno apresentou resultados menores, quando comparado ao tratamento de 0 e 200 nM (Figura 8E). Aos 6 DAE comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no estresse o Ci foi mais baixo nas concentrações de 50 e 100 nM, apesar que a concentração de 50 nM não demonstrou diferenças significativas com a concentração de 0, 150 e 200 nM (Figura 8F).

A maior concentração de Ci sob déficit hídrico indica que existe uma redução no processo de carboxilação da fotossíntese, provavelmente devido à redução da atividade da

Rubisco que é a enzima responsável por esse processo (YU et al, 2004). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima e Lobato (2017), utilizando aplicações exógenas de brassinosteróide via foliar em feijão de corda em condições de déficit hídrico, onde a concentração de carbono interno aumentou com o estresse, entretanto houve uma redução de aproximadamente 18% quando utilizado o brassinosteróide na concentração de 100 nM.

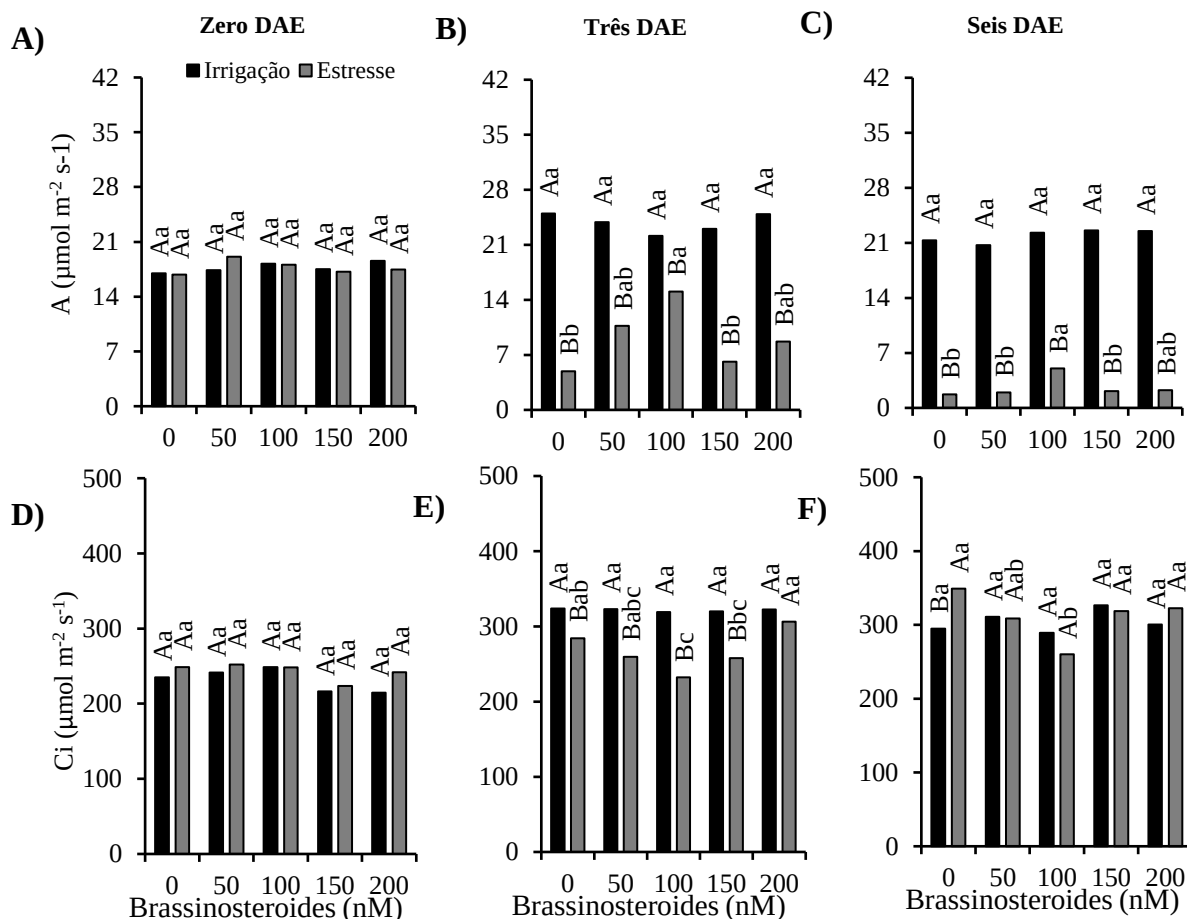


Figura 8. Assimilação fotossintética de CO₂ (A) e Concentração de carbono interno (Ci) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes hídricos nas mesmas concentrações de brassinosteróide e letras minúsculas indicam diferença entre as concentrações no mesmo regime hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 3 DAE foi observado diferença significativa na variável condutância estomática entre regimes hídricos e concentrações de brassinosteróides. Nas plantas sob estresse hídrico, na concentração de 100 nM a condutância estomática foi superior em relação às demais

concentrações de brassinosteróide (Figura 9B). Entretanto, aos 6 DAE não foi observado diferença significativa entre as concentrações no déficit hídrico (Figura 9C).

A redução da condutância estomática é uma das respostas ao déficit hídrico da planta, com o objetivo de reduzir a perda de água, porém tendo como resultado a redução da entrada de CO₂ na planta e, conseqüentemente redução da assimilação fotossintética de CO₂ (KHAN et al., 2020). Em situação de déficit hídrico mais severos a planta utiliza de outros mecanismos para responder a essas condições de déficit hídrico, com isso, observamos que a condutância estomática apresentou respostas positivas ao uso do brassinosteróides apenas no estresse moderado, enquanto no severo não apresentou nenhuma reação ao uso do brassinosteróide (DIAS et al., 2018).

Para a transpiração, aos 3 DAE foi observado diferença significativa entre regimes hídricos, com exceção do tratamento com 100 nM, onde o déficit hídrico apresentou valores iguais estaticamente ao tratamento irrigado na mesma concentração. Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado não houve diferença, já no estresse na concentração de 100 nM a transpiração foi superior em relação às demais concentrações, (Figura 9E). De outra maneira, aos 6 DAE foi observado diferença significativa entre regimes hídricos. Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado não houve diferença, no déficit hídrico a concentração de 0 e 100 nM apresentaram os maiores valores, entretanto a concentração de 0 nM não se diferenciou estaticamente das demais concentrações (Figura 9F).

A transpiração está diretamente ligada a condutância estomática, uma vez que a perda de água pela transpiração depende da abertura estomática, assim observamos respostas similares dessas duas variáveis, visto que assim como na condutância estomática, no estresse moderado houve melhoria da transpiração no tratamento aplicado de 100 nM, porém, no estresse mais severo a aplicação de brassinosteróide não foi efetiva para atenuar os efeitos do déficit hídrico nessa variável. De forma Similar, Desoky et al. (2021), estudando aplicações exógenas de brassinosteróide via foliar em cultivares de milho submetidas ao déficit hídrico, observaram melhoria de 17,9% na taxa de transpiração.

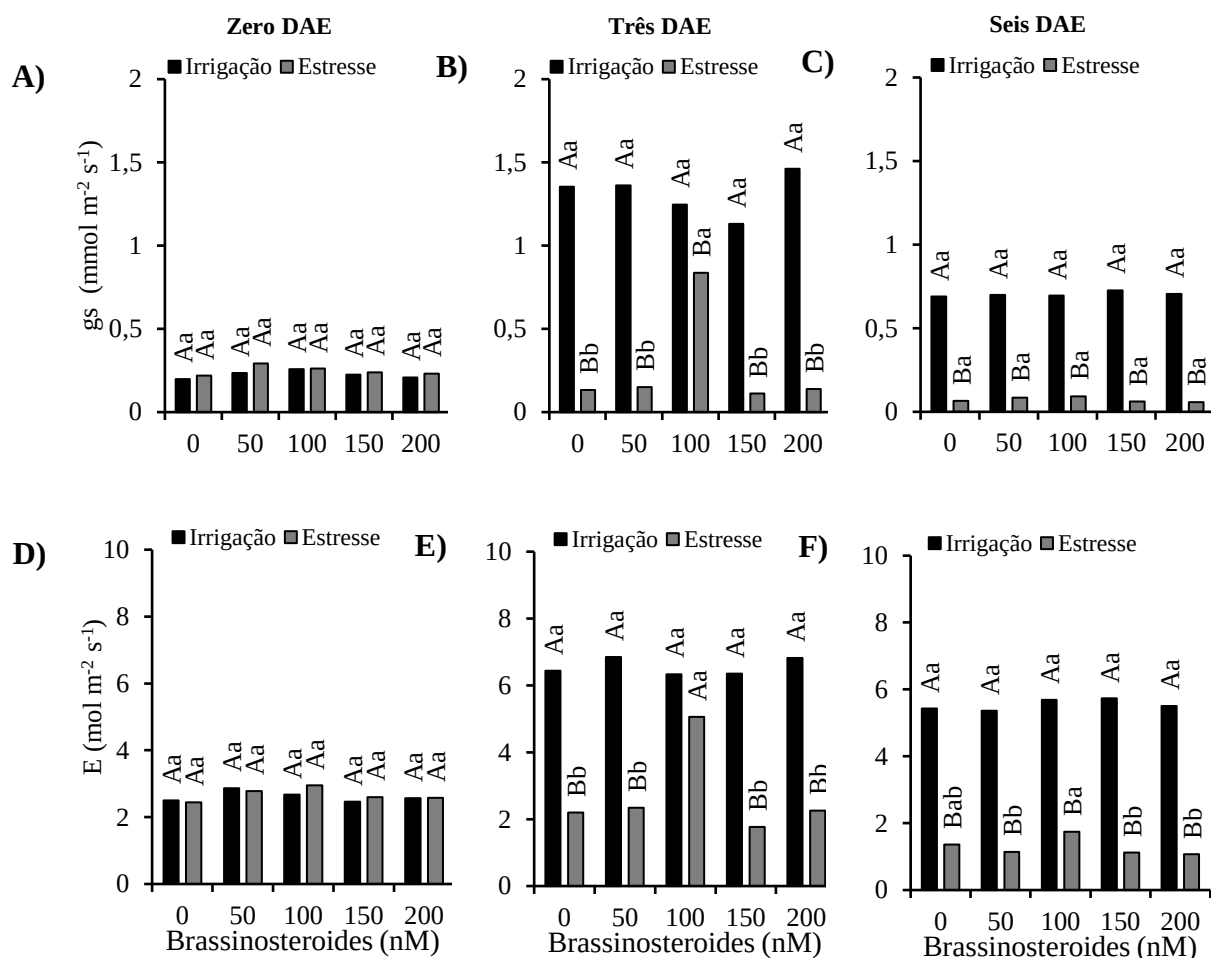


Figura 9. Condutância estomática (gs) e Transpiração (E) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes hídricos nas mesmas concentrações de brassinosteróide e letras minúsculas indicam diferença entre as concentrações no mesmo regime hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para eficiência do uso da água (EUA) aos 3 DAE foi observado diferenças entre regimes hídricos apenas na concentração de 0 nM, sendo que a eficiência do uso da água, nas demais concentrações submetidas ao déficit conseguiram se igualar aos resultados encontrados nas condições irrigadas (Figura 10B). Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado não houve diferença, já com o déficit hídrico foi observado valores maiores nas concentrações de 50, 100, 150 e 200 nM, apesar que as concentrações de 50, 150 e 200 nM, não diferiram do tratamento com 0 nM de brassinosteróide. Já aos 6 DAE foi observado diferença significativa entre regimes hídricos. Comparando as concentrações no mesmo regime

hídrico, no irrigado não houve diferença, já com o déficit hídrico, foi possível observar valores mais elevados nas concentrações de 100 e 200 nM, apesar que a concentração de 200 nM não se diferenciou dos resultados encontrados nas demais concentrações (Figura 10C).

Para eficiência instantânea da carboxilação aos 3 DAE foi observado diferença significativa entre regimes hídricos na concentração 0, 50, 150 e 200 nM, porém na concentração de 100 nM não foi observado diferença entre plantas bem irrigadas e sob estresse hídrico. Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado não houve diferença, já no estresse na concentração de 50 e 100 nM foram observados os maiores resultados para eficiência instantânea da carboxilação, apesar que a concentração de 50 nM não se diferenciou estaticamente das demais concentrações (Figura 10E). Aos 6 DAE também foi observado diferença significativa entre regimes hídricos. Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado não houve diferença, já com o déficit hídrico os maiores valores foram encontrados nas concentrações de 50, 100, 150 e 200 nM, apesar das concentrações de 50, 150 e 200 nM, não se diferirem estaticamente da concentração de 0 nM (Figura 10F).

Em relação a eficiência do uso da água com aplicação de brassinosteróide, a ocorrência de um aumento no processo de transpiração de forma isolada, poderia resultar em uma redução da EUA, devido as perdas de água que ocorrem nesse processo, porém, esse processo teve como consequência incrementos no processo de assimilação fotossintética de CO_2 , com isso a EUA é beneficiada, uma vez que corresponde a relação Pn/E . A eficiência instantânea de carboxilação tem seu aumento devido à forte relação que a concentração de carbono interno na planta tem sobre o processo fotossintético, a redução desse carbono significa uma melhoria no processo de carboxilação (YU et al, 2004). Com a aplicação do brassinosteróide na concentração de 100 nM as duas eficiências foram semelhantes as encontrados por Lima e Lobato (2017), onde houve o aumento de 49% para EUA e 141% para EiC com a aplicação foliar em plantas de feijão sob déficit hídrico, também na concentração de 100 nM.

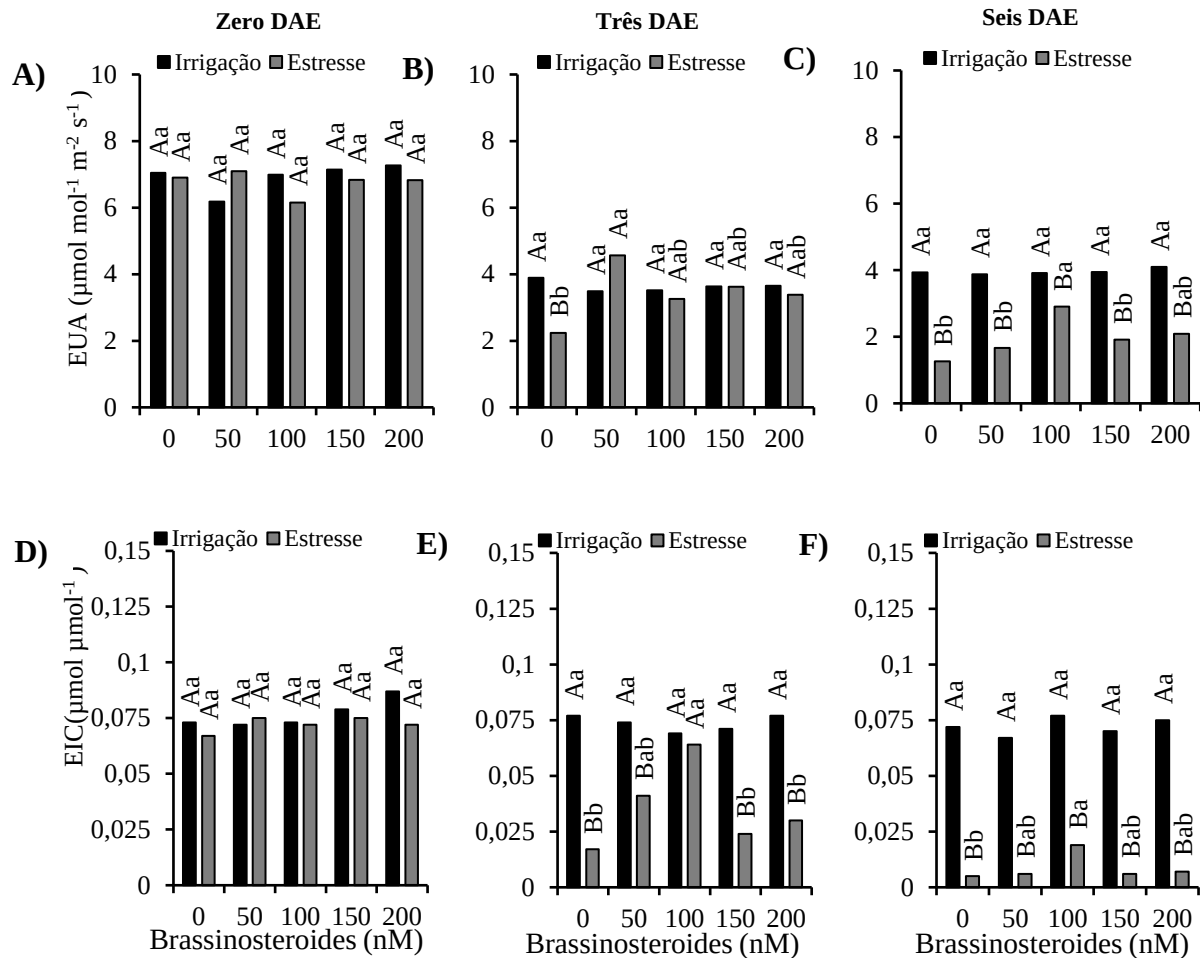


Figura 10. Eficiência do uso da água (EUA) e Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes hídricos nas mesmas concentrações de brassinosteróide e letras minúsculas indicam diferença entre as concentrações no mesmo regime hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para a produção de massa seca, foi observado diferença significativa entre regimes hídricos para massa seca de folha e do caule, sendo o irrigado superior e igual entre todas as concentrações (Figura 11A e 11B). Comparando as concentrações no déficit hídrico a massa seca de folha foi superior na concentração de 50, 100, 150 e 200 nM, apesar das concentrações de 50, 150 e 200 nM não se diferenciar estaticamente da concentração de 0 nM (Figura 4A). Por outro lado, a massa seca do caule não variou entre as concentrações de brassinosteróide (Figura 11B).

Para a massa seca da raiz também foi observado diferença significativa entre regimes hídricos apenas nas concentrações de 0, 50 e 200 nM, enquanto nas concentrações de 100 e 150 nM não foi observado diferença entre plantas irrigadas e estressadas (Figura 11C).

Para a massa seca total foi observado diferença significativa entre regimes hídricos, sendo o irrigado superior em todas as concentrações de brassinosteróide. Comparando as concentrações no mesmo regime hídrico, no irrigado a concentração de 0, 50, 100 e 150 nM, apesar das concentrações de 0, 100 e 150 nM, não se diferenciaram estaticamente da de 200 nM apresentou o menor valor. Já com o déficit hídrico a concentração de 50, 100, 150 e 200 nM tiveram os maiores valores de massa seca total, apesar de as concentrações de 100, 150 e 200 nM, não se diferenciarem da de 0 nM enquanto a concentração de 0 nM apresentou o menor valor (Figura 11D).

O brassinosteróide atua em diversos mecanismos fisiológicos, como a divisão e crescimento celular e a fotossíntese, sendo resultado da sua facilidade de translocar para diversos órgãos da planta, como consequência, melhora a produção de biomassa na planta (ZHAO et al., 2017). Pereira et al. (2019) aplicando brassinosteróide na concentração de 100 nM via foliar em plantas de feijão submetidas ao déficit hídrico, observaram aumentos de 13, 11 e 8% para matéria seca de folha, caule e a total, respectivamente, em comparação com as plantas estressadas que não receberam a aplicação do brassinosteróide.

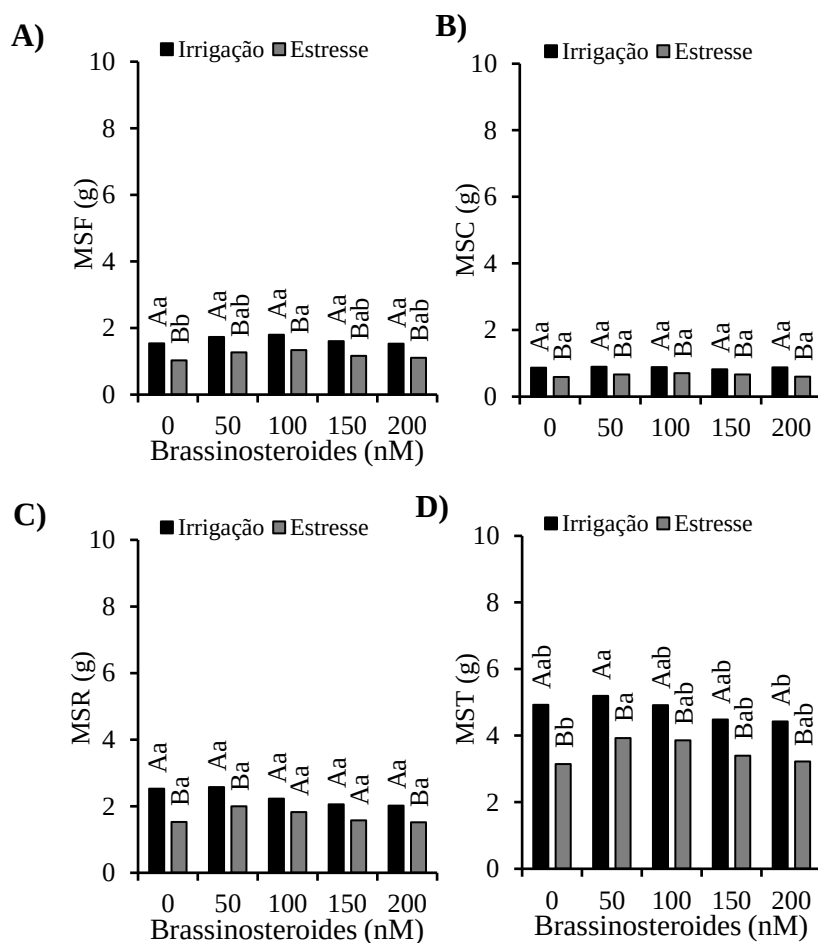


Figura 11. Massa seca da folha (MSF), Massa seca do caule (MSC), Massa seca da raiz (MSR) e Massa seca total (MST) em plantas de soja, com as sementes embebidas em diferentes concentrações de brassinosteróide e submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigado e déficit hídrico), aos 0 DAE, 3 DAE e 6 DAE.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes hídricos nas mesmas concentrações de brassinosteróide e letras minúsculas indicam diferença entre as concentrações no mesmo regime hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nesse estudo, o preparo de sementes na concentração de 100 nM apresentou melhoria no estado hídrico das plantas, nas trocas gasosas e na massa seca da folha e total, possivelmente resultaria em uma menor perda de produtividade no caso de a cultura passar por períodos de deficiência hídrica até o final do seu ciclo.

6 CONCLUSÕES

O uso de brassinosteróide no preparo de sementes de soja demonstrou capacidade de atenuar os efeitos do déficit hídrico moderado no conteúdo relativo de água e nas trocas gasosas, o que refletiu em um maior acúmulo de biomassa.

Entre as concentrações de brassinosteróide estudadas, a concentração de 100 nM se mostrou como a mais eficiente no processo de tolerância ao estresse hídrico pela cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- BOARD, J.E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. **Crop Science**, v.45, p.1790-1799, 2005
- CARLSON, J. B. Morphology. In: CALDWELL, B. E. (Ed). Saybeans: Improvement, Production, and Uses. **American Society of Agronomy**, 1973. p. 17-95
- CÂMARA, G. M. S. Inoculação de sementes de sojs. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção**. Piracicaba, SP: 1998. p. 278-293.
- CARRETERO, D. Fisiologia da produção de soja: princípios e processos na construção da produtividade. In: FUNDAÇÃO MI (Ed). **Boletim de pesquisa de soja**. Fundação MT, 2011. p. 429-439
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2022/2023 - Décimo segundo levantamento**. Brasília: CONAB, 2023
- DIAS, C.S.; ARAUJO, L.; CHAVES, J.A.A.; DAMATTA, F.M.; RODRIGUES, F.A. Relação água, trocas gasosas foliares e clorofila a imagens de fluorescência de folhas de soja infectadas com *Colletotrichum truncatum*. **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v.127, p.119-128, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.016>.
- DESOKY, E. Sayed M.; MANSOUR, E.; ALI, M. M. A.; YASIN, M.A. T.; ABDUL-HAMID, M. I. E. Abdul-Hamid; 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
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologia de produção de soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina, PR. **Embrapa Soja**, 2011a. 264 p

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Iowa, Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977, 12 p. (Special Report, 80)

HUANG, L.; ZHANG, L.; ZENG, R.; WANG, X.; ZHANG, H.; WANG, L.; LIU, S.; WANG, X.; CHEN, T. Brassinosteroid Priming Improves Peanut Drought Tolerance via Eliminating Inhibition on Genes in Photosynthesis and Hormone Signaling. **Genes**. 2020

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3, ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 632 p

KHAMSUK, O.; SONJAROON, W.; SUWANWONG, S.; JUTAMANEE, K.; SUKSAMRARN, A. Effects of 24-epibrassinolide and the synthetic brassinosteroid mimic on chili pepper under drought. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2018.

KHAN, I.; AWAN, S. A.; IKRAM, R.; RIZWAN, M.; AKHTAR, N.; YASMIN, H.; SAYYED, R.Z.; ALI, S.; ILYAS, N. Effects of 24-epibrassinolide on plant growth, antioxidants defense system, and endogenous hormones in two wheat varieties under drought stress. **Physiologia Plantarum**, p. 1-11, 2020.

LANGARO, Ana Claudia et al. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 1, p. 40-46, 2014.

LERSTEN, N. R.; CARLSON, J. B. Vegetative Morphology. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Ed.). Soybeans. Improvement, Production, and uses. American Society of Agronomy; Crop Science Society of America. **Soil Science Society of America**. 2004 p. 15-57

LEWIS, G. SCHIRE, B. MACKINDER, B. LOCK, M. **Legwes of the Morld Kew: The Royal BotanicGardens**, 2005 5/7 p

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**, v. 23, p. 59-72, 2017.

MACHADO, E.C. Disponibilidade de água como fator de crescimento da planta. In: MIYASAKA, S; MEDINA, J.C. (ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p.153-156.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instruções para execução de ensaios de distinguibilidade, homogenidade e estabilidade de cultivares de soja (Glycine max (L) Merrill)**. 2013. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/vegetal/Registro/Autorizacoes/Formularios%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20Cultivares/SOJA_ANEXO9201CULTIVARES_EXEMPLO_P_1.doc. Acesso em 23 jul, 2023.

MELO, M. H. **Potential of soybean cultivars for the production of biofuel**. 51 f. Dissertação (Mestrado em bioenergia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

MORALES, R. G. F., RESENDE, L. V., BORDINI, I. C., GALVÃO, A. G., & REZENDE, F. C. (2015). Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 9-17, 2015.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S; MEDINA, J. C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981, p. 65-104

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T; BARROS. H. B; TEIXEIRA. R. C. **Morfologia, crescimento e desenvolvimento: Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR Mecenias, 2009 p 7.16

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**. 2019.

ROSA, V.R.; SILVA, A. A.; BRITO, D. S.; JUNIOR, J. D. P.; SILVA, C. O.; DAL-BIANCO, M.; OLIVEIRA, J.A.; RIBEIRO, C. Drought stress during the reproductive stage of two soybean lines. **Pesquisa agropecuária brasileira**. 2020.

SEDIYAMA, T.: TEIXEIRA, R. C: BARROS. H. B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.), **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenass, 2009. p. 77-91.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

THOMAZ, A.L.; COSTA, J.A. Soybean: management for high grain yield. Evangraf. Porto Alegre, 2010, 248p.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339- 366, 1981.

VEPRASKAS, M. J. **Plant Response Mechanisms to Soil Compaction**. In: WILKINSON, R. E. (Ed). Plant Environment Interactions: M. Dekker, 1994. p. 263-287

WANG, Z., ZHENG, P., MENG, J., & XI, Z. 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. 1-12, 2015.

YU JQ, HUANG LF; HU WH.: Um papel para os brassinosteróides na regulação da fotossíntese em *Cucumis sativus*. – **Journal Experimental botany**. 55: 1135-1143, 2004.

ZHAO, G., XU, H., ZHANG, P., SU, X. & ZHAO, H. (2017) Efeitos de 2,4-epibrassinolide na fotossíntese e na expressão do gene Rubisco ativase em mudas de *Triticum aestivum* L. sob uma combinação de seca e estresse térmico. **Plant Growth Regulation**, 81(3), 377–384.

ZHENG Q, LIU J, LIU R, WU H, JIANG C, WANG C, GUAN Y. Temporal and spatial distributions of sodium and polyamines regulated by brassinosteroids in enhancing tomato salt resistance. **Plant Soil**. 2016.