

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EXTRATO DE FOLHA DE MORINGA COMO ATENUANTE  
DOS EFEITOS DO ESTRESSE POR DÉFICIT HÍDRICO  
EM PLANTAS DE ALGODÃO**

**José Clebson Barbosa Lúcio**

**Engenheiro Agrônomo**

**2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EXTRATO DE FOLHA DE MORINGA COMO ATENUANTE  
DOS EFEITOS DO ESTRESSE POR DÉFICIT HÍDRICO  
EM PLANTAS DE ALGODÃO**

**José Clebson Barbosa Lúcio**

**Orientadora: Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão**

**Coorientadora: Dra. Rita de Cássia Alves**

**Coorientador: Prof. Dr. Renato de Melo Prado**

**Tese apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias –  
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como  
parte das exigências para a obtenção  
do título de Doutor em Agronomia  
(Produção Vegetal).**

**2023**

L938e Lúcio, José Clebson Barbosa  
Extrato de folha de moringa como atenuante dos efeitos do estresse por déficit hídrico em plantas de algodão / José Clebson Barbosa  
Lúcio. -- Jaboticabal, 2023  
41 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientadora: Priscila Lupino Gratão  
Coorientadora: Rita de Cássia Alves

1. Estresse oxidativo. 2. *Gossypium hirsutum* L. 3. *Moringa oleifera* Lam. 4. Fisiologia Vegetal. 5. Produção Agrícola. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EXTRATO DE FOLHA DE MORINGA COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DO ESTRESSE POR DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE ALGODÃO

**AUTOR: JOSÉ CLEBSON BARBOSA LÚCIO**  
**ORIENTADORA: PRISCILA LUPINO GRATÃO**  
**COORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO**  
**COORIENTADORA: RITA DE CÁSSIA ALVES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. PRISCILA LUPINO GRATÃO (Participação Presencial)  
Departamento de Biologia / FCAV UNESP Jaboticabal

gov.br

Documento assinado digitalmente  
ROBERTA SAMARA NUNES DE LIMA  
Data: 11/12/2023 13:52:44-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. ROBERTA SAMARA NUNES DE LIMA (Participação Virtual)  
Departamento de Melhoramento Genético Vegetal / Universidade Estadual do Norte Fluminense - Campos dos Goytacazes

Pesquisadora Dra. LETÍCIA RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)  
AECOM do Brasil / Belo Horizonte/MG

gov.br

Documento assinado digitalmente  
LETÍCIA RODRIGUES ALVES  
Data: 12/12/2023 15:48:15-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. ANTONIO MÁRCIO SOUZA ROCHA (Participação Presencial)  
Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. GILMAR DA SILVEIRA DE SOUSA JÚNIOR (Participação Presencial)  
Departamento de Fisiologia Vegetal e Olericultura / Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro - Bebedouro/SP

Jaboticabal, 01 de dezembro de 2023

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**JOSÉ CLEBSON BARBOSA LÚCIO** – Nascido em 25 de maio de 1986 na cidade de Arapiraca, Alagoas. Filho de Josefa Barbosa Lúcio e Cícero Lúcio do Nascimento, irmão de Maria Cleia Barbosa Lúcio, Cláudia Barbosa Lúcio e Maria Clebia Barbosa Lúcio. Em 2011 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus de Arapiraca. Durante a graduação esteve vinculado ao Centro de Referência em Recuperação de Áreas Degradadas – CRAD Baixo São Francisco, onde desenvolveu projetos de iniciação científica, assim como atividades de extensão; em paralelo, como presidente do Centro Acadêmico de Agronomia (CA Antony Moura) atuou como representante estudantil no colegiado do curso e conselhos da universidade. Em 2017 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo pela UFAL. No mesmo ano, ingressou no curso de Mestrado Acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho, com quem desenvolveu pesquisas dentro da área de Fisiologia Vegetal com foco nas respostas hormonais do tomateiro à deficiência nutricional. Em 2019 obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) pela FCAV/UNESP. No mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela mesma instituição, onde sob a orientação da Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão, desenvolvendo pesquisas vinculadas à área de Fisiologia Vegetal com foco nas respostas do sistema antioxidante enzimático e não enzimático ao estresse em plantas cultivadas.

“A acessibilidade ao ensino público de qualidade possibilitou derrubar muros  
que limitaram toda uma geração!”

Clebson Praxedes

“Alegrai-vos porque em toda parte é aqui e tudo é agora”

*Om Mani Padme Hum!*

Aos que comigo esperançaram durante essa jornada:

Meus pais, Josefa e Cícero, minhas irmãs, Cleia, Claudia e Clebia, meu  
namorado Kleve e meus sobrinhos, Rayssa, Liz, Antenor,

Matheus, Gustavo, Miguel, Gabriel e Rafael.

Dedico

A minha avó Odete Praxedes (*In memoriam*) por me transmitir ensinamentos  
que não se encontram nos livros, mas sim na essência do coração.

Ofereço

## **AGRADECIMENTOS**

A FCAV/UNESP que por meio do programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção vegetal) possibilitou estrutura física e intelectual para minha qualificação profissional.

A Professora Dra. Priscila Lupino Gratão, pela orientação e suporte para o desenvolvimento dessa pesquisa; pela forma humana, empática e acolhedora que foram fundamentais para tornar essa jornada mais suave, mesmo durante o período da pandemia.

A Dra. Rita de Cássia Alves, pela coorientação e exemplos de determinação. Sou muito grato por nossa amizade.

Ao Professor Dr. Renato de Melo Prado, pela coorientação e apoio para o desenvolvimento desse trabalho.

A Sônia Maria Carregari (Soninha), por todo suporte técnico no laboratório de fisiologia vegetal e por esses seis anos de amizade, cuidado e carinho que foram fundamentais durante essa jornada em Jaboticabal.

Ao Professor Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, por estar sempre disponível para colaborar por meio do seu conhecimento técnico ou científico sempre que necessário.

Aos estudantes de iniciação científica, Milena, Efraim e Kauane por todo o empenho e apoio na condução dos experimentos.

Aos amigos Reginaldo Oliveira, Mariana Bomfim e Lucas Barbosa, por toda parceria e apoio na condução dos experimentos.

A Mirella Vantini, pelo treinamento técnico para realização das análises enzimáticas.

A todos que compõem o laboratório de Fisiologia Vegetal e o Departamento de Biologia, pelo convívio e amizade.

Aos amigos que compartilharam comigo a estadia em Jaboticabal durante o ciclo de doutoramento, Danilo Passos, Reginaldo Oliveira, Mariana Bomfim, Kássia Ferreira, Marcilene Sarah, Samira Queiroz, João Carlos, Eduarda Reis, Gelza Teixeira e Antônio Márcio por proporcionarem momentos de descontração e afetuosidade.

Aos amigos de Alagoas, Cleice Alves, Jânio Pedro, Cinara Bernado, Daiane Lima, Sirleide Menezes, Juliana Catônio, Francysmari Barros e Anderson Santos, por desde 2011 caminhararmos juntos, compartilhando amizade e cumplicidade.

Ao meu Namorado Kleve Canteral, por todo companheirismo, cuidado e amor que foram essenciais para que esse ciclo fosse leve e agradável, mesmo em meio a rotina de estudos e análises laboratoriais.

Aos meus pais, Josefa e Cícero, e minhas irmãs, Cleia, Claudia e Clebia, por me apoiarem e vibrarem comigo em cada conquista.

Aos meus sobrinhos Rayssa, Antenor, Liz, Matheus, Gustavo, Miguel, Gabriel e Rafael, por me possibilitarem ser o tio que participa da vida de vocês mesmo quando a distância geográfica nos separa fisicamente.

A energia que nos alimenta com positividade, esperança e justiça, que nos move rumo a luz da evolução.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## Sumário

<b>RESUMO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Algodão .....	3
2.1.1. Aspectos botânicos e fisiológicos .....	3
2.1.2. Importância socioeconômica .....	5
2.1.3. Estresse por déficit hídrico.....	6
2.1.4. Estresse oxidativo e sistema antioxidante de defesa.....	7
2.1.5. Extratos de moringa oleífera como atenuante dos efeitos dos estresses em plantas.....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
3.1 Condições de crescimento e material vegetal.....	11
3.2 Preparo e aplicação do extrato de folhas de Moringa (EFM) .....	12
3.3 Delineamento experimental .....	13
3.4 Análises.....	15
3.4.1 Conteúdo relativo de água (CRA) foliar .....	15
3.4.2 Eficiência quântica de PSII (Fv/Fm).....	15
3.4.3 Conteúdo de pigmentos fotossintéticos .....	15
3.4.4 Peroxidação lipídica (MDA) e teor de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	15
3.4.5 Determinação da atividade de enzimas antioxidantes .....	16
3.4.6 Parâmetros de crescimento .....	17
3.4.7 Análise estatística.....	17
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
4.1. Status hídrico e fotossintético .....	18
4.2. Peroxidação lipídica e conteúdo de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	20
4.3. Atividade enzimática antioxidante.....	21
4.4. Parâmetros de crescimento .....	23
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>

## EXTRATO DE FOLHA DE MORINGA COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DO ESTRESSE POR DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE ALGODÃO

**RESUMO** - As mudanças climáticas têm intensificado os períodos de seca nas épocas de cultivo das culturas agrícolas, fator preocupante para o setor produtivo. No entanto, conhecendo os mecanismos de defesa das plantas e as substâncias envolvidas nesses processos, busca-se desenvolver tecnologias para atenuar os efeitos dos estresses em plantas. A moringa (*Moringa oleífera* Lam.), contém vários componentes essenciais para o crescimento e equilíbrio homeostático das plantas. Nesse contexto, a aplicação de extrato liofilizado de folhas de moringa (EFM) pode promover resposta tanto bioestimulantes do crescimento quanto atenuantes dos efeitos do déficit hídrico na cultura do algodão. Desta forma, estudamos a aplicação de quatro concentrações (0, 10, 20 e 30 g L<sup>-1</sup>) de EFM em plantas de algodão sob duas condições hídricas (80 e 40%) da capacidade de água disponível no solo (CAD). Nossos resultados mostram efeitos positivos da aplicação de EFM, na manutenção do status hídrico e fotossintético, conteúdo de pigmentos fotossintéticos, redução da peroxidação lipídica, aumento da atividade enzimática e incremento do crescimento das plantas. A concentração de 10 g L<sup>-1</sup> de EFM mostrou-se mais eficiente tanto como atenuante dos efeitos do déficit hídrico como bioestimulantes do crescimento das plantas de algodão.

**Palavras chave:** Estresse oxidativo, *Gossypium hirsutum* L, *Moringa oleífera* Lam, Bioestimulante.

## MORINGA LEAF EXTRACT AS A MITIGATOR OF WATER DEFICIT-INDUCED STRESS EFFECTS IN COTTON PLANTS

**ABSTRACT** - The effects of water deficit can reduce cotton productivity by up to 60%. In this sense, climate change has intensified dry periods during the growing season for this crop, a worrying factor for the production sector. However, knowing the defense mechanisms of plants and the substances involved in these processes, we seek to develop technologies to mitigate the effects of stress on plants. Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) in turn, contains several essential components for the growth and homeostatic balance of plants. In this context, the application of lyophilized extract of moringa leaves (MLE) can promote both growth biostimulant responses and mitigate the effects of water deficit in cotton crops. In this way, we studied the application of 4 concentrations (0, 10, 20 and 30 g L<sup>-1</sup>) of MLE in cotton plants under two water conditions (80 and 40%) of soil CAD. The results show positive effects of the application of MLE, in maintaining water and photosynthetic status, content of photosynthetic pigments, reduction of lipid peroxidation, increase in enzymatic activity and increase in plant growth. In general, the highest concentrations of MLE reduced the growth of cotton plants in both water conditions, thus, the concentration of 10 g L<sup>-1</sup> of MLE proved to be more efficient both as attenuator of the effects of water deficit and as biostimulants. of cotton plant growth.

**Keywords:** Oxidative stress, *Gossypium hirsutum* L, *Moringa oleifera* Lam, Biostimulant.

## 1. INTRODUÇÃO

A cotonicultura ocupa aproximadamente 35 milhões de hectares, movimentando cerca de US\$ 12 bilhões e sua cadeia produtiva envolve mais de 350 milhões de pessoas (ABRAPA, 2022). A produção global de algodão está prevista para 121 milhões de fardos na safra 2022/23, sendo a China (24%), Índia (24%), Brasil (11%), Estados Unidos (11%) e Paquistão (5%) responsáveis por 75% desta produção. Com relação à exportação, os Estados Unidos e o Brasil lideram esse ranking (Meyer et al., 2022). O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma planta de origem tropical, de crescimento indeterminado, cultivada principalmente sob condições de sequeiro, ou seja, suas necessidades hídricas dependem exclusivamente da ocorrência de chuvas (ABRAPA, 2022; USDA, 2022).

As mudanças climáticas geram preocupações no setor produtivo, visto que períodos de seca têm se tornado frequente durante a época de cultivo. Com isso, as demandas hídricas das culturas não são supridas ao longo de suas fases fenológicas (Pilon et al., 2019; IPCC, 2021). Como reflexo deste cenário, estima-se uma redução de cinco milhões de fardos de algodão na safra 2022/23 dos EUA devido a seca que atingiu o Texas (USDA, 2022). De maneira geral, os efeitos do déficit hídrico podem reduzir a produtividade de algodão em até 60%. (Almeida et al., 2017). A intensidade da perda de produtividade depende do nível do DH, se moderado ou severo (60 ou 40% respectivamente) do conteúdo de água disponível (CAD) no solo; do tempo de exposição e da fase de crescimento da cultura (Jie et al., 2022; Quevedo et al., 2022). Portanto, os maiores danos à produtividade ocorrem na fase de florescimento e formação dos capulhos (Zou et al., 2020; Zhao et al., 2020).

O menor teor de água nas plantas provoca desequilíbrios fisiológicos e bioquímicos, o que causa fechamento estomático, redução da fotossíntese e elevada produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), moléculas que degradam membranas celulares (Loka et al., 2020; Hu et al., 2021; Lobato et al., 2021). No entanto, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa antioxidante para controlar o nível de ERO e manter a homeostase celular (Mansoor et al., 2022). Para isso, os tecidos vegetais possuem sistemas compostos por enzimas antioxidantes, como: superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), catalase (CAT, EC 1.11.1.6), ascorbato

peroxidase (APX, EC 1.11.1.11) dentre outras; e sistemas não enzimáticos compostos por ácido ascórbico (AsA), glutathiona (GSH), flavonoides, carotenoides e vitaminas que participam ativamente do controle das ERO nas células (Mansoor et al., 2022). A percepção do estresse e a modulação do metabolismo é realizada por fitohormônios como ácido abscísico (ABA), ácido salicílico (AS), ácido jasmônico (AJ), auxinas (AUX), giberelinas (GAs) e um conjunto de genes que compõem as vias de sinalização (Mansoor et al., 2022).

Portanto, conhecendo os mecanismos de defesa e as substâncias envolvidas nesses processos, busca-se desenvolver tecnologias para atenuar os efeitos dos estresses em plantas. Neste sentido, a aplicação exógena de substâncias bioestimulantes (orgânicas ou inorgânicas) surge como ferramenta eficaz para aumentar a tolerância das culturas aos estresses ambientais (Zulfiqar et al., 2020). A aplicação exógena de AS em tomateiro, combinação de melatonina e ABA em algodão, AJ e AS em milho, melhorou as atividades antioxidantes, trocas gasosas e reduziu as perdas de produtividade dessas culturas sob déficit hídrico (Hu et al., 2021; Khattak et al., 2021; Lobato et al., 2021), assim como, a combinação de AS + Silício em ervilha sob toxicidade por boro (Oliveira et al., 2020) e AsA em amendoim sob irrigação salina (Alves et al., 2022).

No entanto, apesar dos resultados promissores dessas moléculas como atenuadores dos efeitos dos estresses nas culturas agrícolas, o uso isolado de muitas delas é inviável devido aos elevados custos de produção. Portanto, tem-se buscado fontes naturais alternativas que contenham um conjunto de compostos bioativos que atuem nos mecanismos de defesa das plantas, para que sejam utilizadas de forma sustentável e com maiores retornos econômicos (Zulfiqar et al., 2020). Pesquisas recentes comprovam que a moringa (*Moringa oleífera* Lam.) contém vários componentes essenciais, como micro e macronutrientes (Arif et al., 2022), vitaminas (Hala et al., 2017; Zulfiqar et al., 2020), fitohormônios, antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos e outros fitoquímicos benéficos para as plantas (Abd El-Hack et al., 2018). Com isso, o extrato de folhas, flores, frutos, sementes ou raízes de moringa tem sido apontado como um bioestimulante com viabilidade econômica e ambiental (Zulfiqar et al., 2020; Arif et al., 2022).

Os efeitos bioestimulantes do extrato de folhas de moringa (EFM) foram observados na germinação de sementes de *Capsicum annuum* (Hala & Nabila, 2017), crescimento e rendimento de *Pelargonium graveolens* (Ali et al., 2018), nos melhores parâmetros de condutância estomática, pigmentos fotossintéticos e translocação de fotoassimilados em *Foeniculum vulgare* e *Curcubita pepo* (Taia et al., 2017; El-Serafy e El-Sheshtawy, 2020). Além disso, em condições de estresse o EFM promoveu respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas positivas para manutenção do crescimento e da produção, fotossíntese, relações hídricas, estabilidade de membrana, pigmentos fotossintéticos, osmolitos compatíveis, antioxidantes não enzimáticos e enzimáticos, diminuição do nível de ERO e malondialdeído (MDA) em culturas sob salinidade (Desoky et al., 2019), seca (Hanafy et al., 2017; Maswada et al., 2018) e metal pesado (Khalofah et al., 2020). No entanto, há escassez de informações sobre a aplicação de EFM na cultura do algodão, tanto em relação aos efeitos do EFM como a concentração ideal a ser utilizada nesta cultura (Zulfiqar et al., 2020; Arif et al., 2022).

Nesse contexto, a hipótese deste estudo é que a aplicação de EFM condiciona respostas tanto bioestimulantes do crescimento quanto atenuantes dos efeitos do déficit hídrico na cultura do algodão. Objetivou-se investigar os efeitos de diferentes concentrações de EFM via aplicação foliar nos parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de crescimento da cultura do algodão sob suficiência e deficiência hídrica, bem como determinar a concentração de EFM com melhor resposta bioestimulante do crescimento ou atenuante dos efeitos do estresse na cultura do algodão.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Algodão**

#### **2.1.1. Aspectos botânicos e fisiológicos**

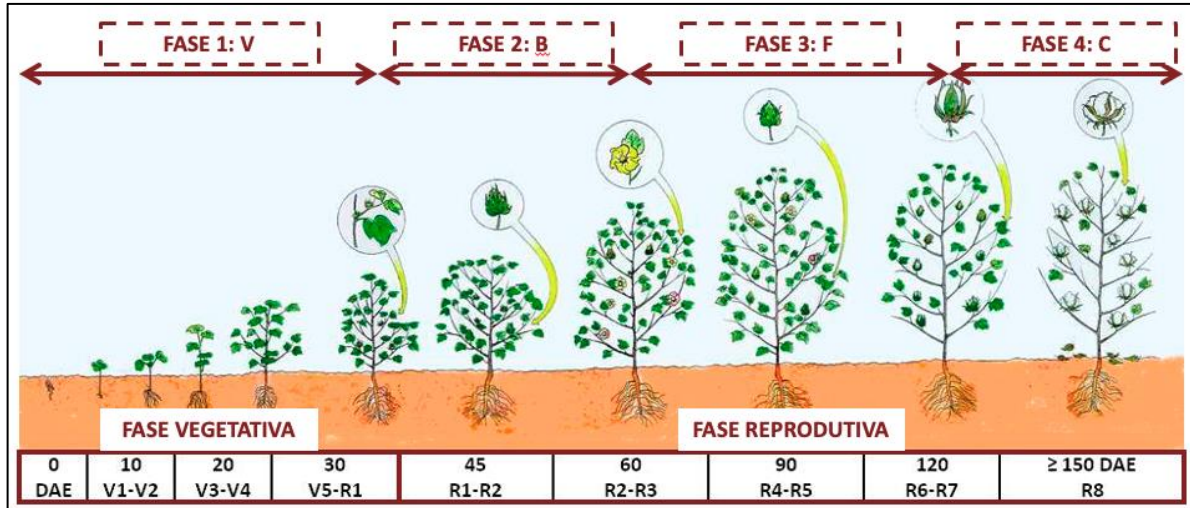
O algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma planta pertencente as *Malvaceae* que apresenta elevada complexidade morfofisiológica, alta plasticidade fenotípica e crescimento de ciclo anual ou perene (Vidal Neto e Freire, 2013). Fisiologicamente, a espécie apresenta metabolismo fotossintético do tipo C3, com taxa de fotorrespiração superior a 40% da fotossíntese bruta, no entanto isso depende do ambiente, da luminosidade e da temperatura (Beltrão, 2010). Por ser uma espécie glicofítica, a

planta de algodão apresenta maior tolerância à estresses quando comparada com outras espécies (Zafar et al., 2023).

Morfologicamente, a planta de algodão apresenta sistema radicular pivotante, caule ereto, cilíndrico e sublenhoso, as folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, podendo apresentar consistência coriácea, inteira ou recortada (três a nove lóbulos), as flores são hermafroditas, axilares e de coloração creme, os frutos são denominados de maçãs quando verdes e de capulhos quando se abrem, são capsulares de deiscência longitudinal, as sementes são revestidas de pelos denominados de fibra ou línter (Ferraz, 2012; Sousa, 2010).

Em relação ao ciclo da cultura, o algodoeiro pode ser classificado como precoce, quando dura em média 130 dias; ciclo médio, de 140 a 170 dias e ciclo tardio, quando dura mais de 170 dias (Doorembos e Kassam, 2000). A fenologia dessa espécie está organizada em estádios de crescimento e desenvolvimento que são caracterizados em função das seguintes fases fenológicas: vegetativa (V), formação de botões florais (B), abertura da flor (F) e abertura do capulho (c). De forma mais detalhada, como pode ser observado na figura 1, a fase vegetativa tem início na emergência das plântulas até a emissão da primeira folha verdadeira, sendo chamado de estágio V0. A partir da emissão da primeira folha até que a segunda folha atinja 2,5 cm, o estágio será V1. De forma crescente, ao passo que novas folhas são emitidas, a planta avançará para os estádios V2, V3, Vn (Marur e Ruano, 2001; Dias e Santos, 2023)

A partir da emissão do primeiro botão floral, a planta passará para a fase reprodutiva, sendo este o estágio B1, sucessivamente, à medida que um novo botão floral é emitido em um novo ramo frutífero, a classificação passa à B2, B3, Bn. No momento em que ocorre a abertura da primeira flor, a classificação passa para F1 e assim sucessivamente. Por último, com a emissão do primeiro capulho, o estágio de desenvolvimento passará a ser C1 e assim sucessivamente (Dias e Santos, 2023)



**Figura 1** – Estádios de crescimento e desenvolvimento da planta de algodão (Fonte: Agro Insight)

### 2.1.2. Importância socioeconômica

A cotonicultura está entre as mais importantes culturas de fibras e oleaginosas do mundo, visto que todos os anos, em média 35 milhões de hectares de algodão são plantados em todo o planeta (ABRAPA, 2023). O comércio mundial do algodão movimentava anualmente cerca de US\$ 12 bilhões e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua cadeia de produção, desde as fazendas até a logística, descaroçamento, processamento e embalagem (ABRAPA, 2023; Voora et al., 2023).

Nos últimos anos, o Brasil tem se mantido entre os cinco maiores produtores mundiais, ao lado de países como China, Índia, Estados Unidos da América e Paquistão (Zafar et al 2023). Além disso, o Brasil ocupa o primeiro lugar em produtividade em sequeiro e tem figurado também entre os maiores exportadores mundiais, desta forma o cenário interno é promissor, pois estamos entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma (ABRAPA, 2023). Atualmente, o algodão é o quinto produto nacional em termos de Valor Bruto da Produção (VBP) agrícola, respondendo em média, no ano de 2021, pelo valor de R\$ 26,07 bilhões (2,4% do VBP total) (Brasil, 2021; Conab, 2021).

Nacionalmente, os maiores produtores de algodão são os Estados que se localizam no bioma Cerrado, destacando-se Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso do Sul. Só a produção do Estado do Mato Grosso representa

2,7 vezes a soma da produção das demais regiões do País (CEPEA, 2021). A produção de algodão na região semiárida do Brasil é bem menor que a da região do Cerrado, mas nem por isso, menos importante, pois há produção de algodão convencional e transgênico em escala empresarial e produção de algodão orgânico e agroecológico, principalmente no Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia. Estes campos abastecem nichos de mercado, como os da União Europeia e de alguns estados do Sul e do Sudeste do Brasil (EMBRAPA, 2017).

De maneira geral, por ser uma fibra natural amplamente produzida, o algodão proporciona rendimentos a milhões de agricultores, além disso, 8 dos 10 principais países produtores de algodão estão classificados como países em desenvolvimento e a cotonicultura participa efetivamente do desenvolvimento econômico deles (Sheth, 2017; ITC, 2019). Desta forma, a cultura do algodão é de grande importância para a economia mundial. Dada a importância da cultura do algodão, vale ressaltar que, apesar desta cultura já está amplamente adaptada ao cultivo em ambientes temperados, subtropicais e tropicais, devido as alterações climáticas, a cadeia produtiva vem enfrentando desafios como mudança na frequência e intensidade das chuvas, períodos de seca, calor, menor disponibilidade de água para irrigação e salinização das áreas de cultivo (Haigh e Griffiths, 2009; Ton, 2011; Adefisan, 2018).

### **2.1.3. Estresse por Déficit Hídrico**

O Déficit hídrico é um dos estresses abióticos mais significativos sobre o desenvolvimento das plantas e da produtividade das culturas, visto que os efeitos da escassez de água podem reduzir em média 50% da produtividade das culturas agrícolas (Lamaoui et al., 2018). Neste sentido, apesar do algodão ser moderadamente tolerante ao estresse por déficit hídrico na fase vegetativa, é bastante sensível a esse estresse na fase reprodutiva, ou seja, nos estádios de florescimento e formação do capulho, nesta fase, os efeitos do déficit hídrico pode causar aborto de botões florais ou redução de qualidade da fibra (Iqbal et al., 2023; Niu et al., 2018; Quevedo et al., 2022).

A redução da produtividade e qualidade das culturas agrícolas sob déficit hídrico ocorrem como resultado dos efeitos desse estresse na morfologia externa e estrutura interna, fisiologia e bioquímica dessas plantas (Yang et al., 2021). A redução

do crescimento (Altura de planta, número e área das folhas) está relacionada a senescência das folhas, redução da expansão celular, mitose prejudicada, redução da pressão de turgor celular, aumento da temperatura foliar e menor disponibilidade de fotoassimilados (Li et al., 2020; Anjum et al., 2017; Misra et al., 2020). Desta forma, a redução da área foliar, afeta diretamente a fotossíntese e o rendimento das plantas (Yang et al., 2021).

Fisiologicamente, o déficit hídrico provoca a redução da taxa fotossintética e da taxa de transpiração, que podem ocorrer por fechamento estomático, o que limita a absorção de CO<sub>2</sub> ao mesmo tempo em que evita a perda de água pela transpiração. A taxa fotossintética também pode ser reduzida pelos efeitos não estomáticos, devido a redução da atividade ou do conteúdo de componentes que compõem a maquinaria fotossintética (Flexas et al., 2004). Dentre esses componentes, podemos citar a diminuição dos pigmentos fotossintéticos, redução da atividade da Ribulose-1,5-bifosfato, diminuição da taxa de transferência de elétrons, diminuição da fosforilação que por sua vez provocam a fotoinibição (Ma et al., 2015). De maneira geral é relatado que as alterações na fotossíntese, nas substâncias osmóticas, nas proteínas, nas enzimas antioxidantes e no status nutricional refletem todos os diferentes graus de influência do déficit hídrico sobre as plantas (Yang et al., 2021).

#### **2.1.4. Estresse oxidativo e sistema antioxidante de defesa**

Os estresses abióticos frequentemente desestabilizam a homeostase e a distribuição de íons nas células vegetais, o que provoca o aumento no acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) (Rajput et al., 2021). As ERO são produzidas em diferentes organelas celulares, principalmente em mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos, por meio de diferentes processos fisiológicos e bioquímicos. No processo de transporte fotossintético de elétrons, os cloroplastos produzem consistentemente oxigênio, que é eliminado por redução e assimilação. No fotossistema I (PS I) e no ciclo fotorrespiratório, a fotorredução do O<sub>2</sub> à radical O<sub>2</sub><sup>•-</sup> ocorre por componentes reduzidos do sistema de transporte de elétrons (Bhattacharjee, 2019).

A produção de ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) é considerada a primeira resposta oxidativa em uma célula porque está envolvida na geração de outras ERO e radicais

livres como o radical hidroxila (\*OH) por meio da reação de Haber e Weiss e reação de Fenton, e por meio da reação Mehler o  $O_2^{\cdot-}$  é transformado em  $H_2O_2$  (Caparrós et al., 2021). A geração de  $H_2O_2$  é realizada após a redução do oxigênio molecular ( $O_2$ ) em  $O_2^{\cdot-}$  através da dismutação de  $O_2^{\cdot-}$  com ajuda da enzima superóxido dismutase (SOD) ou pelas oxidases (amino e oxalato oxidases) (Qiao et al., 2014). Dentre as ERO, é necessário ressaltar que apenas o  $H_2O_2$  é altamente estável e capaz de atravessar a membrana vegetal, o que a confere uma função essencial na sinalização celular. Em condições fisiológicas normais, em pequenas concentrações as ERO são indispensáveis para o bom funcionamento do metabolismo, onde regulam processos de multiplicação e diferenciação celular, respiração e a fotossíntese, além de serem moléculas sinalizadoras que regulam o desenvolvimento vegetal em resposta a estresses bióticos e abióticos (Noctor et al., 2014, Czarnocka e Karpiński, 2018).

No entanto, o aumento na produção de ERO como: radical superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), oxigênio singleto ( $^1O_2$ ), radical hidroxila (\*OH) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) é uma das principais respostas das plantas sob diferentes condições de estresse. As principais consequências do acúmulo de ERO em nível celular e bioquímico são a degradação de clorofilas; danos às moléculas de DNA e peroxidação lipídica, o que afeta a fluidez e permeabilidade da membrana devido a alterações na composição dos lipídeos e por fim, a morte celular (Alves et al., 2018, Kaya et al., 2018; He et al., 2018; Mittler, 2017). Em respostas à essas perturbações as plantas desenvolveram uma série de medidas de defesa que visam a eliminação de ERO livres nas células vegetais (Mittler, 2002; Sharma et al., 2012).

Dentre essas medidas, destacam-se os mecanismos fisiobioquímicos que podem atuar na eliminação de ERO pela via enzimática por meio da ação das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidases (POX), glutathione peroxidase (GPX), glutathione reductase (GR), glutathione S-transferases (GST), ascorbate peroxidase (APX), monodehidroascorbato reductase (MDHAR) e desidroascorbato reductase (DHAR) ou pela via não enzimática através de compostos como ácido ascórbico (AA), glutathione (GSH), compostos fenólicos, alcalóides, flavonóides, carotenóides, prolina, aminoácidos livres e  $\alpha$ -tocoferóis (Zhou et al., 2018; Zhou et al., 2017).

Na linha de defesa antioxidante enzimática, a superóxido dismutase (EC 1.15.1.1) representa a primeira barreira contra o estresse oxidativo, uma vez que realiza conversão ou dismutação de ânions  $O_2^{\cdot-}$  em ERO menos tóxicas como o  $H_2O_2$  (Chung, 2017). O  $H_2O_2$  por sua vez pode ser dismutado à água e oxigênio por meio da enzima catalase (EC 1.11.1.6) (Liu et al., 2015). Outras duas enzimas muito importantes nos processos de combate ao estresse oxidativo por meio da eliminação de  $H_2O_2$  são a ascorbato peroxidase (EC 1.11.1.11) que tem como doador de elétrons o ascorbato (AsA) e a glutaiona peroxidase (EC 1.11.1.9) que utiliza a tioredoxina como doador de elétrons para realização de suas atividades. (Maruta et al., 2016; Gratão et al., 2005, Hippler et al., 2015, Liu et al., 2015). Na linha de defesa antioxidante não enzimática o GSH e AsA são os principais elementos que reduzem o  $H_2O_2$ , visto que são rapidamente regenerados. O ciclo GSH-AsA é responsável pela remoção de ERO. O AsA atua como cofator enzimático e também é responsável pela formação do tocoferol e o GSH como matéria-prima para várias peroxidases (Zhang, 2013; Karmal-Eldin et al., 1996; Nisar et al., 2015)

De maneira geral, o mecanismo de reação de diversas enzimas, envolvidas na defesa das plantas contra as ERO para enfrentar as condições de estresse, é bem conhecido, o que tem possibilitado o melhoramento genético de várias culturas agrícolas para alcançar cultivares mais tolerantes aos efeitos dos estresses. Neste sentido, tem se buscado desenvolver produtos que quando aplicados via sementes ou folhas das culturas, sirvam de start ou substrato para o funcionamento eficiente dos mecanismos de tolerância aos estresses dessas culturas, são os chamados bioestimulantes do crescimento ou atenuadores dos efeitos dos estresses.

#### **2.1.5. Extratos de moringa oleífera como atenuante dos efeitos dos estresses em plantas**

Frente as mudanças climáticas, que cada vez mais têm submetido os cultivos agrícolas a condições de estresses, a aplicação exógena de substâncias orgânicas ou inorgânicas tem se destacado como ferramenta eficaz para aumentar a tolerância das culturas a esses estresses ambientais (Zulfiqar et al., 2020). Os bioestimulantes são produtos derivados de materiais biológicos que promovem a melhoria da produtividade das plantas, incluindo rendimento, qualidade ou eficiência de produção,

devido à presença de reguladores de crescimento de plantas, nutrientes essenciais e compostos protetores de plantas (Yakhin et al., 2017). Esses constituintes alteram o metabolismo, a sinalização e a regulação hormonal das plantas durante o crescimento e desenvolvimento (Parađiković et al., 2019).

O uso de substâncias como ácido salicílico, melatonina, ácido abscísico, ácido jasmônico, ácido ascórbico, e silícico, melhorou as atividades antioxidantes, trocas gasosas e reduziu as perdas de produtividade de diferentes culturas sob diferentes condições de estresse ambiental (Hu et al., 2021; Khattak et al., 2021; Lobato et al., 2021; Oliveira et al., 2020; Alves et al., 2022). No entanto, o uso isolado de muitas dessas moléculas se torna inviável devido aos elevados custos de produção. Portanto, tem-se buscado fontes naturais alternativas que contenham um conjunto de compostos bioativos que atuem nos mecanismos de defesa das plantas, para que sejam utilizadas de forma sustentável e com maiores retornos econômicos (Zulfiqar et al., 2020).

Pesquisas recentes relatam que a moringa (*Moringa oleífera* Lam.), árvore nativa da Índia que cresce em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Zulfiqar et al. 2020) possui em suas folhas, flores, sementes e raízes componentes nutricionais, vitaminas, hormônios e compostos antioxidantes que são essenciais para a manutenção de mecanismos de defesa das plantas (Arif et al., 2022; Hala et al., 2017; Zulfiqar et al., 2020; Abd El-Hack et al., 2018) (Tabela 1). A presença desses compostos evidencia o potencial do extrato das diferentes partes da planta de moringa como base para produtos bioestimulantes do crescimento ou atenuante dos efeitos dos estresses ambientes em culturas agrícolas (Yasmeen et al. 2013; Rehman et al. 2014).

Até então, os efeitos bioestimulantes do extrato de folhas de moringa (EFM) foram observados na germinação de sementes (Hala & Nabila, 2017), crescimento e rendimento de algumas culturas hortícolas (Ali et al., 2018; Yuniati et al., 2022).

**Tabela 1.** Substâncias que compõem o extrato de folhas de moringa com propriedades bioquímicas importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas

<b>Grupo</b>	<b>Substâncias</b>	<b>Referência</b>
<b>Nutrientes minerais</b>	N, Ca, K, P, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, S, Cu, e Se	Harif e Hayat, 2023
<b>Vitaminas</b>	A, B, C, e E	Hala e Nabila 2017; Zulfiqar et al. 2020
<b>Aminoácidos</b>	Arginina, Lisina, Fenilalanina, Histidina, Triptofano, Valina, Metionina, Leucina, Isoleucina e Treonina	Yasmeen et al. 2013
<b>Fitohormônios</b>	ABA, Auxinas, GAs e Citocininas (Zeatina)	Abd El-Hack e outros 2018
<b>Antioxidantes</b>	Fenóis, Flavonóides, Carotenóides, Tocoferol, Ácido ascórbico e Ácido oxálico	Abd El-Hack et al. 2018

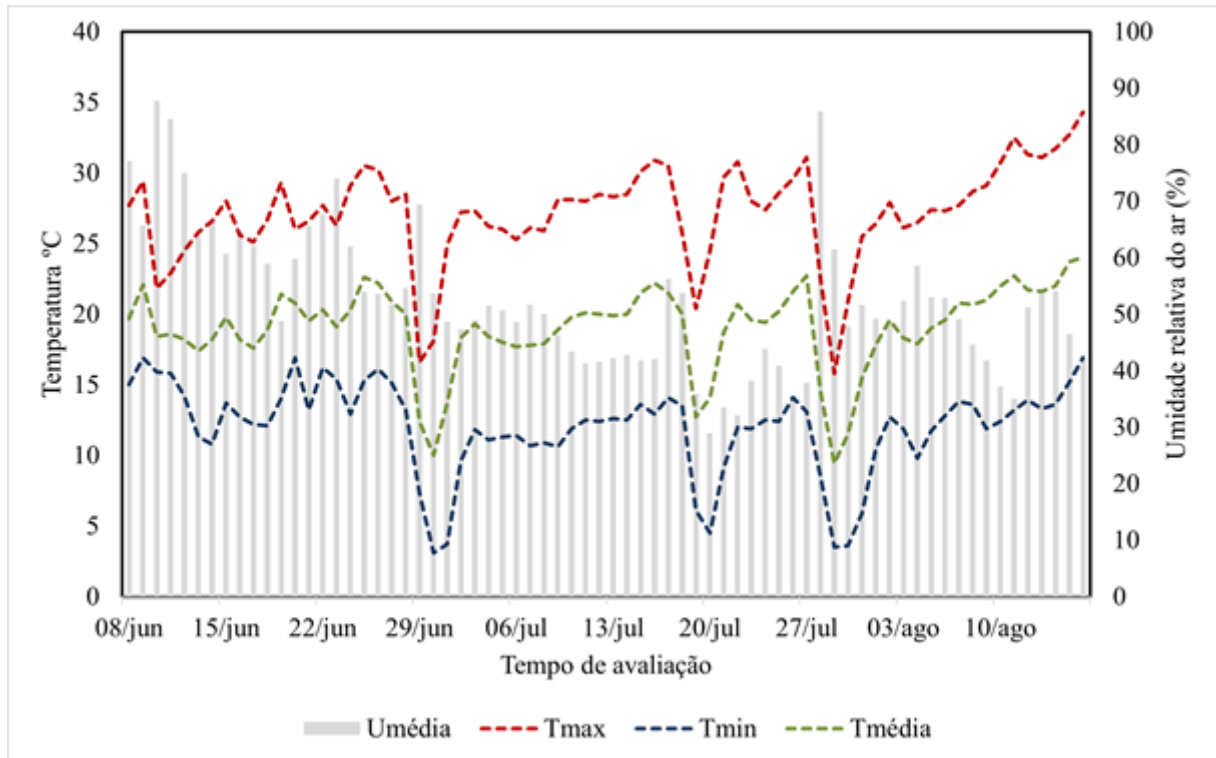
Além disso, em condições de estresse o EFM promoveu respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas positivas para manutenção do crescimento e da produção em culturas sob salinidade (Desoky et al., 2019), seca (Hanafy et al., 2017; Maswada et al., 2018) e metal pesado (Khalofah et al., 2020). No entanto, o potencial bioestimulante do extrato de moringa irá depender da parte da planta utilizada (Semente, Folhas, flores ou raiz), do método e meio de extração, por exemplo folhas secas ou frescas, em álcool ou água, do método de armazenamento e da concentração utilizada (Zulfiqar et al., 2020; Arif et al., 2022).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Condições de crescimento e material vegetal**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante 70 dias, contemplando o período entre a semeadura e o início do florescimento das plantas de algodão, cultivar BRS 286. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram monitorados (Fig. 2). Antes da semeadura, as sementes passaram pelo processo

químico de deslincamento via úmida com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98%) (Queiroga et al., 2001). Seis quilos de solo (Latosolo Vermelho Eutroférico) foram acondicionados em vasos plásticos de formato quadrado, com capacidade para sete litros, nas seguintes dimensões: 35,5 cm de altura, 16 cm de largura superior e 11 cm de largura inferior.



**Figura 2.** Umidade relativa do ar (%) e variação da temperatura (°C) na casa de vegetação durante o período experimental.

A adubação foi realizada com base na análise química do solo, no volume de solo utilizado por vaso e seguindo as recomendações para a cultura do algodão. Desta forma, aplicou-se 3,66g de ureia, 6,1g de superfosfato simples, 1,71g de cloreto de potássio, 0,130g de sulfato de zinco e 0,0157g de ácido bórico por vaso. As doses de ureia e cloreto de potássio foram fracionadas, e a metade foi disponibilizada na adubação de fundação junto aos outros nutrientes e a outra metade como adubação de cobertura 30 dias após a semeadura (DAS).

### 3.2 Preparo e aplicação do extrato de folhas de Moringa (EFM)

As folhas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) foram coletadas, separadas em porções de 500g, lavadas em água deionizada e armazenadas em freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$  por

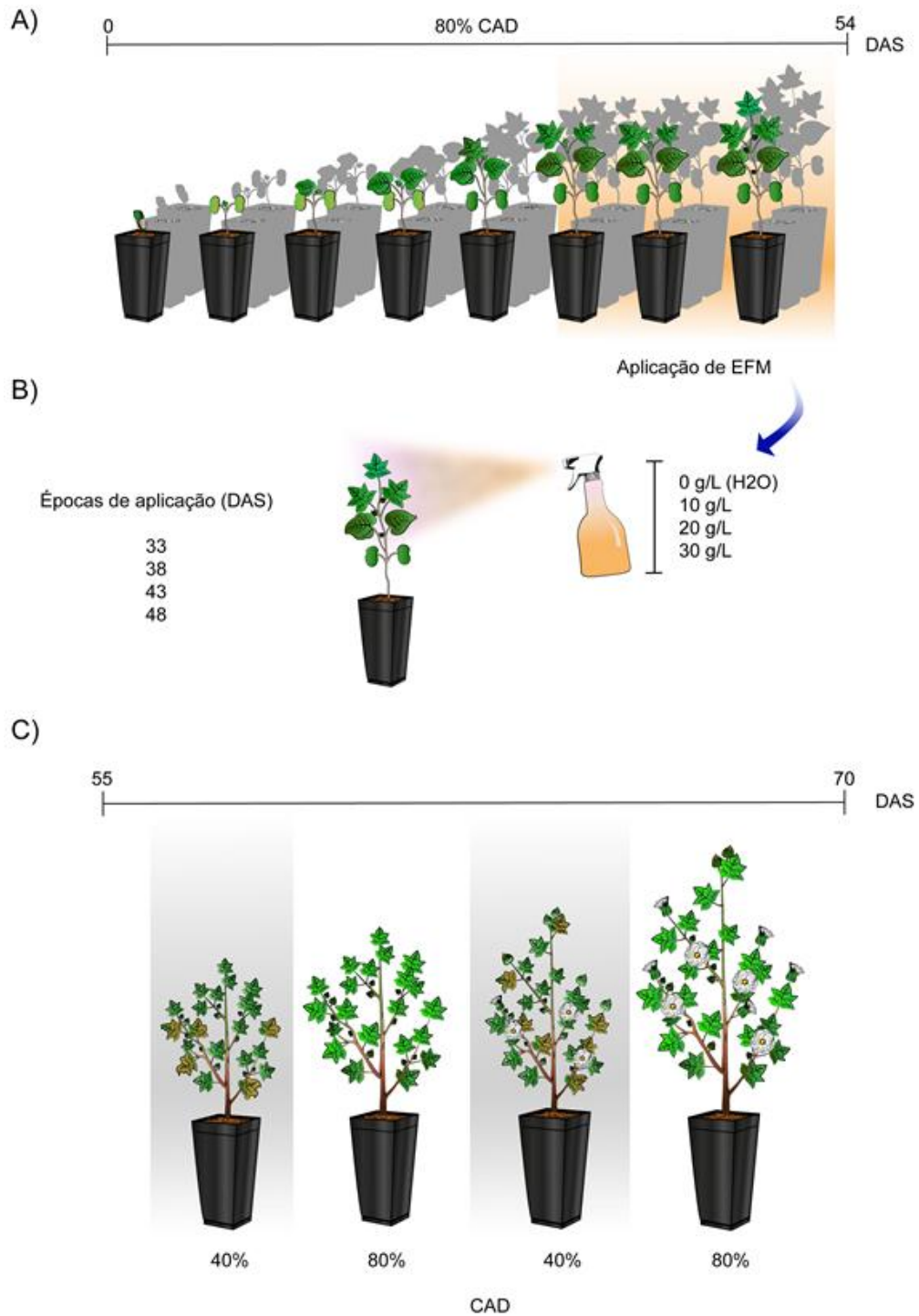
24 h. Em seguida, as folhas foram trituradas em liquidificador, aferido o volume e adicionado água deionizada na mesma proporção (1:1), a qual ficou em repouso por 24 h em geladeira. Procedeu-se à filtragem do material e por conseguinte a centrifugação por 30 min a 4.000 g, sob 4°C. O sobrenadante foi retirado e acondicionado em potes de vidro, protegidos da luz e armazenados por 24 h em freezer a -20°C. O material congelado foi colocado em liofilizador de bancada (Série LT-Torrone/São Carlos – SP) e o processo ocorreu a -40°C. Após 72 h, o material totalmente seco foi retirado, pesado e armazenado em potes hermeticamente fechados, protegidos da luz e colocados em dessecador.

Para as aplicações do extrato de folhas de moringa (EFM) na parte aérea das plantas de algodão, um pulverizador de compressão foi utilizado. As aplicações ocorreram sempre às 6 h da manhã sob condições de umidade relativa do ar entre 70 e 80%. O EFM foi dissolvido em água deionizada de acordo com as concentrações em questão e para garantir a absorção ideal nos tecidos foliares, uma solução de Tween 20 a 0,1% (v/v) foi adicionada à solução de pulverização como agente umectante. Foram pulverizados 20, 40, 60 e 80 mL de EFM da 1ª a 4ª aplicação em cada unidade experimental, respectivamente.

### **3.3 Delineamento experimental**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, correspondente a 4 concentrações de EFM e duas condições hídricas, 80 e 40% da capacidade de água disponível (CAD) no solo, com 4 repetições. Cada concentração de EFM (0, 10, 20 e 30 gL<sup>-1</sup>) foi aplicada quatro vezes entre a fase vegetativa e reprodutiva da cultura, aos 33 (V4), 38 (V4), 43 (B1) e 48 (B1) DAS e seus respectivos estádios fenológicos (Fig. 3 a - b).

Aos 55 DAS, suspendeu-se a irrigação das parcelas correspondentes ao DH até atingirem 40% da CAD do solo contido no vaso, essa condição foi mantida até os 70 DAS (Fig. 3 c). As condições hídricas do experimento foram controladas por meio de duas pesagens diárias dos vasos, seguida da aplicação da lâmina de água necessária para manutenção das condições de suficiência e deficiência hídricas.



**Figura 3.** Representação das etapas e processos da condução do experimento. A) Período entre a germinação e início do surgimento dos botões florais (54 DAS) sob 80% da CAD. Período de aplicação do EFM (Plantas no estágio V4 até surgimentos dos botões florais). B) Concentrações, épocas e forma de aplicação do EFM. C) Período de imposição do déficit hídrico (40%) e do controle (80%) da CAD.

### **3.4 Análises**

#### **3.4.1 Conteúdo relativo de água (CRA) foliar**

Foram coletados 15 discos (5 mm diâmetro) da terceira folha do ápice para a base totalmente desenvolvida. Os discos foram pesados para obtenção da massa fresca (MF) e acondicionados em placas de Petri com água deionizada por 8 h, logo após, os discos foram novamente pesados, obtendo-se a massa túrgida (MT). Em seguida, foram secos a 60°C por 48 h. O teor relativo de água na folha foi obtido pela expressão matemática:  $TRA (\%) = (MF-MS) / (MT-MS) \times 100$ .

#### **3.4.2 Eficiência quântica de PSII (Fv/Fm)**

A eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) foi medida entre 8 e 9 h da manhã. A leitura foi realizada na terceira folha totalmente expandida do ápice para a base da planta, para isso a folha foi adaptada ao escuro por 30 min usando cliques, e então obteve-se a medida da relação Fv/Fm (Quantum de electrón<sup>-1</sup>) por meio de um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Os30P).

#### **3.4.3 Conteúdo de pigmentos fotossintéticos**

Os teores de clorofilas total e carotenóides foram determinados segundo Lichtenthaler (1987). Amostras frescas (0,025 - 0,030 g) das folhas foram coletadas das plantas de algodão de cada tratamento e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro Beckman DU nos seguintes comprimentos de onda 663, 647 e 470 nm para adquirir os respectivos teores de clorofila a, b e carotenóides. O teor de clorofilas total foi resultado da soma entre as concentrações de clorofila a e b.

#### **3.4.4 Peroxidação lipídica (MDA) e teor de H2O2**

O teor de MDA foi determinado de acordo com Shimizu et al. (2006) e Gratão et al. (2012). A quantificação foi realizada em espectrofotômetro utilizando substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) como malondialdeído (MDA) que é quantificado em um comprimento de onda entre 535 e 600 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol mg}^{-1}$  de biomassa fresca, utilizando-se o coeficiente de extinção molar de  $1,55 \times 10^{-5} \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

O teor de peróxido de hidrogênio foi determinado seguindo a metodologia de Alexieva et al. (2001). As amostras foram misturadas com uma solução tamponada de 100 mM de fosfato de potássio (pH 7,0) e 1 M de iodeto de potássio. A reação ocorreu no escuro e no gelo por 1 h. Posteriormente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a absorvância de 390 nm, onde os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol mg}^{-1}$  de biomassa fresca.

### **3.4.5 Determinação da atividade de enzimas antioxidantes**

#### **3.4.5.1 Superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1)**

A atividade da SOD foi determinada através do meio reacional contendo uma alíquota de extrato vegetal, tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), metionina 50 mM, ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 10 mM, cloreto de nitrotetrazólio 1 mM (NBT) e riboflavina 0,1 mM. O meio reacional foi colocado em tubos de ensaio que foram mantidos em câmara com luz fluorescente de 15 W e temperatura de 25 °C por 5 min, para que a reação ocorresse através da degradação do composto azul formazan. Posteriormente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a uma absorvância de 560 nm, e os valores foram expressos em proteína U SOD  $\text{mg}^{-1}$  (Giannopolitis e Ries, 1977).

#### **3.4.5.2 Catalase (CAT, EC 1.11.1.6)**

A determinação da CAT foi realizada em espectrofotômetro, onde o meio reacional foi composto por uma mistura contendo extrato vegetal, tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e peróxido de hidrogênio 30%. A reação ocorreu durante um minuto onde a degradação do peróxido de hidrogênio foi monitorada a uma absorvância de 240 nm (Cia et al., 2012). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína.

#### **3.4.5.3 Ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11)**

A atividade da APX foi determinada em espectrofotômetro a uma absorvância de 290 nm onde o ensaio foi monitorado por um minuto a uma temperatura de 30°C. O meio reacional foi composto por uma mistura contendo extrato vegetal, tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,5), ácido ascórbico 0,5 mM, EDTA 0,1 mM e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

0,1 mM (Gratão et al., 2012). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  de proteína ascorbato  $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ .

#### **3.4.5.4 Glutathiona peroxidase (GSH-Px, EC 1.11.1.9)**

A atividade da GSH-PX foi determinada em um espectrofotômetro monitorando a oxidação do NADPH por cinco minutos a uma absorvância de 340 nm. O meio reacional foi composto por uma mistura contendo uma alíquota de extrato vegetal, tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), EDTA 3 mM, 0,24 U GR/mL, GSH 10 mM e azida de sódio 1 mM. As amostras foram incubadas a 37°C por 10 min e, posteriormente, 1,5 mM de NADPH e 1,5 mM de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foram adicionados à solução para catalisar a reação (Anderson e Davis, 2004). Os resultados são expressos em  $\text{nmol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína.

#### **3.4.5.5 Guaiacol Peroxidase (GPOX, EC1.11.1.7)**

A atividade da GSH-PX foi determinada em um espectrofotômetro monitorando a oxidação do NADPH por cinco minutos a uma absorvância de 340 nm. O meio reacional foi composto por uma mistura contendo uma alíquota de extrato vegetal, tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), EDTA 3 mM, 0,24 U GR/mL, GSH 10 mM e azida de sódio 1 mM. As amostras foram incubadas a 37°C por 10 min e, posteriormente, 1,5 mM de NADPH e 1,5 mM de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foram adicionados à solução para catalisar a reação (Anderson e Davis, 2004). Os resultados são expressos em  $\text{nmol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína.

#### **3.4.6 Parâmetros de crescimento**

Como parâmetros de crescimento foram aferidos o comprimento de planta (cm), área foliar ( $\text{cm}^2\text{planta}^{-1}$ ) por meio do medidor (LI 3000C), o número de botões florais por planta e amassa seca da parte aérea ( $\text{mgplanta}^{-1}$ ), a qual foi seca em estufa a 60°C por 72 h e determinada via balança analítica (Devem Instrument Company AA-200).

#### **3.4.7 Análise estatística**

A homoscedasticidade e normalidade dos dados foram avaliadas pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente ( $p \leq 0,05$ ). Em seguida, foram submetidos

a análise de variância (ANOVA) pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O processamento dos dados foi feito em ambiente R versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Status hídrico e fotossintético

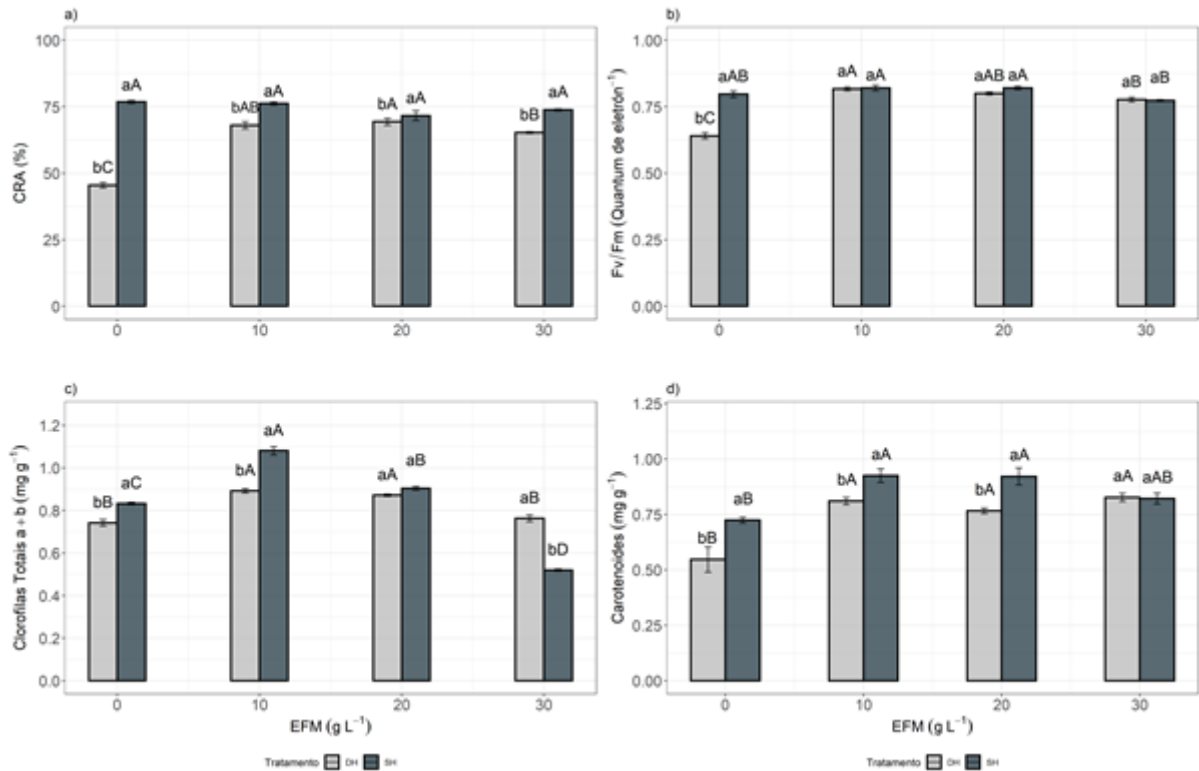
A condição de DH reduziu 41% do CRA foliar (Fig. 4 a) quando comparado com o tratamento de SH. Sob DH, as plantas tratadas com 10, 20 e 30 gL<sup>-1</sup> de EFM apresentaram CRA foliar 52% maior que o do tratamento controle desta condição. Na condição de SH a aplicação das diferentes concentrações de EFM não apresentou diferenças no CRA foliar quando comparadas com o tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup> de EFM) desta condição.

A eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (Fig. 4 b) também foi afetada pelo DH. Quando o tratamento controle foi comparado (0 de EFM) nas condições de SH e DH, a eficiência quântica do PSII no DH ficou abaixo de 0,65 (Quantum de electrón<sup>-1</sup>), o que indica comprometimento do PSII. No entanto, assim como para CRA foliar, as concentrações de EFM mantiveram a eficiência quântica do PSII em níveis entre 0,76 e 0,82(Quantum de electrón<sup>-1</sup>), semelhantes aos do tratamento de SH e dentro dos padrões de eficiência quântica do PSII ideais para as culturas.

Nossos resultados mostram que a condição de DH reduziu 11% do teor de clorofilas totais (Fig. 4 c) quando o tratamento controle (0 gL<sup>-1</sup> de EFM) foi comparado nas condições de DH e SH. Ao observarmos a condição de DH e os efeitos das concentrações de EFM, as concentrações de 10 e 20 gL<sup>-1</sup> promoveram proteção das moléculas de clorofilas, mantendo os teores 17% acima dos valores encontrados no tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup> de EFM), no entanto, na maior concentração (30 gL<sup>-1</sup>) o teor de clorofilas totais não diferiu do tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup>).

Em relação aos efeitos das concentrações de EFM no teor de clorofilas totais nas plantas de algodão sob SH, as concentrações de 10 e 20 gL<sup>-1</sup> incrementaram 23 e 8% do teor desses pigmentos nas plantas, respectivamente. Na condição de SH a maior concentração de EFM (30 g L<sup>-1</sup>) apresentou efeito de toxicidade em relação aos

teores de clorofilas totais, quando comparado com o tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup>) dessa condição, a redução foi de 21%.



**Figura 4.** Efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações (0, 10, 20 e 30) g L<sup>-1</sup> de EFM em plantas de algodão sob suficiência hídrica (SH) e déficit hídrico (DH) no: a) conteúdo relativo de água da folha (CRA), b) eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), c) conteúdo de clorofila total (a + b), e d) conteúdo de carotenóides. As barras representam ± o erro padrão. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas entre as diferentes condições hídricas em cada concentração de EFM e maiúsculas entre cada concentração de EFM nas diferentes condições hídricas, indicam diferenças pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância entre os tratamentos.

Para os teores de carotenoides (Fig. 4 d), os efeitos do DH causaram redução de 24% quando o tratamento controle (0 gL<sup>-1</sup>) de EFM é comparado entre as condições de DH e SH. Por outro lado, as concentrações de EFM (10, 20 e 30 gL<sup>-1</sup>) dentro da condição de DH, promoveram incrementos de aproximadamente 33% nos teores de carotenoides quando comparados com o controle dessa condição. Resultados semelhantes foram encontrados para os efeitos das concentrações de

EFM dentro da condição de SH. As concentrações de 10 e 20 gL<sup>-1</sup> de EFM promoveram incremento de 22%, contudo, na maior concentração (30 gL<sup>-1</sup>), os incrementos foram de apenas 12%, o que mostra a tendência fitotóxica de doses de EFM mais elevadas.

#### 4.2. Peroxidação lipídica e conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

O conteúdo de MDA (Fig. 5 a) nas folhas de algodão, aumentaram acentuadamente sob DH, ou seja, 33% a mais que no tratamento controle da condição de SH. De maneira geral, a aplicação de EFM nas três concentrações estudadas reduziram aproximadamente 25% da peroxidação lipídica nas plantas de algodão sob DH. Quando os efeitos do EFM na condição de SH foram observados, apenas a maior concentração (30 gL<sup>-1</sup>) promoveu redução do conteúdo de MDA comparada aos tratamentos com aplicação de (0, 10 e 20 gL<sup>-1</sup>) de EFM.

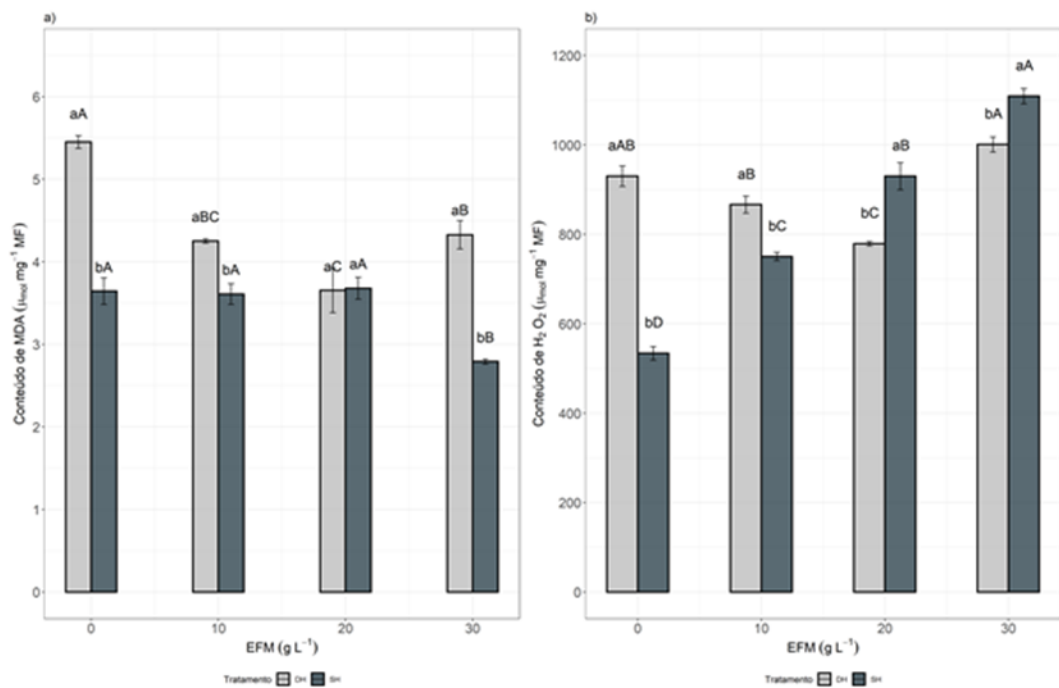


Figura 5. Efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações (0, 10, 20 e 30) g L<sup>-1</sup> de EFM em plantas de algodão sob suficiência hídrica (SH) e déficit hídrico (DH) no: a) conteúdo de malondialdeído (MDA), e b) conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. As barras representam ± o erro padrão. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas entre as diferentes condições hídricas em cada concentração de EFM e maiúsculas entre

cada concentração de EFM nas diferentes condições hídricas, indicam diferenças pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância entre os tratamentos.

A condição de DH aumentou 43 % o conteúdo de  $H_2O_2$  (Fig. 5 b) em relação a condição de SH no tratamento controle ( $0\text{ g L}^{-1}$ ) de EFM. Porém, a aplicação de EFM nas concentrações de 10 e  $20\text{ g L}^{-1}$  promoveram respectivamente redução de 7 e 16% no conteúdo de  $H_2O_2$  das plantas de algodão sob DH. Essa tendência de redução do conteúdo  $H_2O_2$  não foi mantida na maior concentração de EFM. Em contraste ao DH, a aplicação de EFM nas plantas de algodão cultivadas sob SH, quando comparadas com o tratamento controle ( $0\text{ g L}^{-1}$ ) apresentaram aumento gradativo de 42,59 e 52% do conteúdo de  $H_2O_2$  respectivamente para as concentrações de 10, 20 e  $30\text{ g L}^{-1}$  de EFM.

#### 4.3. Atividade enzimática antioxidante

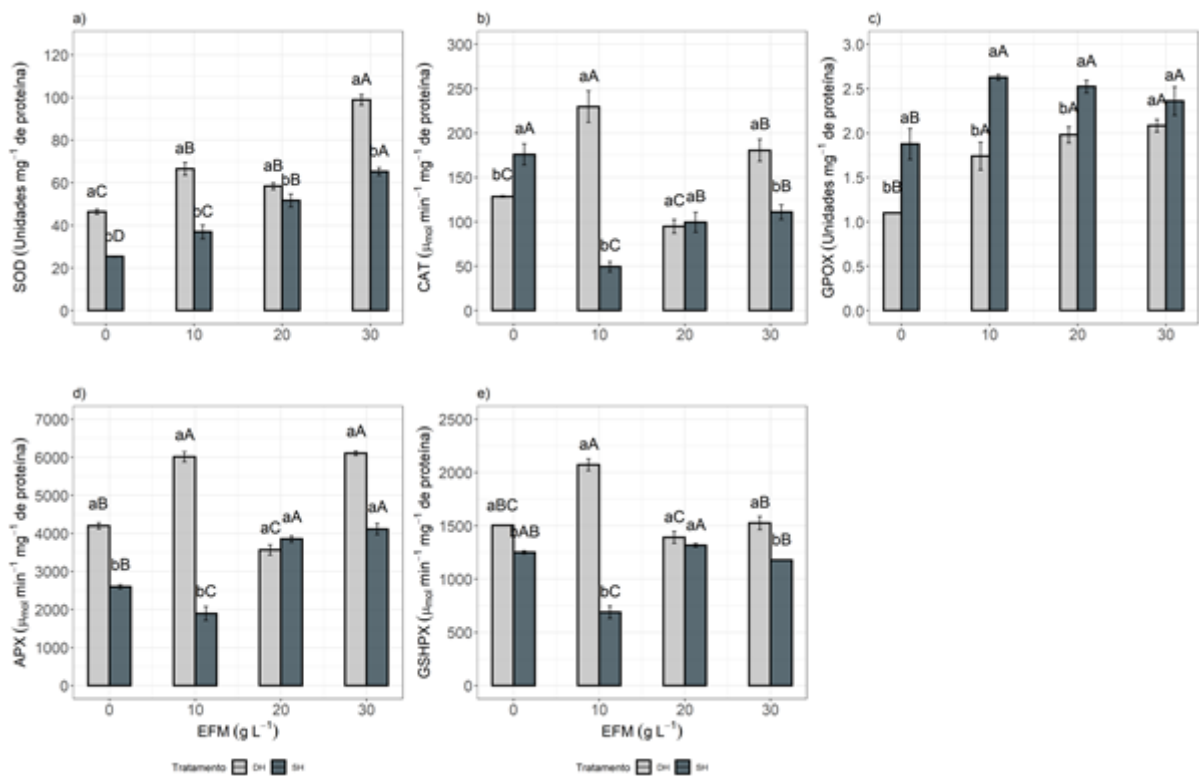
Em relação a atividade enzimática antioxidante (Fig. 6), comparando as plantas de algodão sob SH e DH, ambas no tratamento controle ( $0\text{ g L}^{-1}$ ) de EFM, observamos que o DH, aumentou a atividade da SOD (Fig. 6 a), APX (Fig. 6 d) e GSH-PX (Fig. 6 e) em 55, 38 e 17% respectivamente. Em contraste, a atividade da CAT (Fig. 6 b) e da GPOX (Fig. 6 c) apresentou redução de 27 e 41% sob esta mesma condição. Sob a condição de DH, a aplicação de EFM ( $10, 20$  e  $30\text{ g L}^{-1}$ ) respectivamente incrementou 30; 21 e 53% a atividade da SOD (Fig. 6 a) e 37, 44 e 47% a atividade da GPOX (Fig. 6 c) nas plantas de algodão quando comparadas ao tratamento controle ( $0\text{ g L}^{-1}$  de EFM) desta condição.

Resultados semelhantes foram encontrados para a condição de SH, visto que, quando comparamos o tratamento controle ( $0\text{ g L}^{-1}$ ) de EFM com os tratamentos que receberam aplicação foliar de 10, 20 e  $30\text{ g L}^{-1}$  do extrato, houve incremento de 31; 51 e 61% respectivamente, na atividade da SOD (Fig. 6 a) e 28, 25 e 20% na atividade da GPOX (Fig. 5 c). A aplicação de EFM melhorou a atividade da SOD e GPOX na cultura do algodão, tanto na condição de DH como na condição de SH.

Ainda em relação aos efeitos das concentrações de EFM na atividade enzimática, as enzimas CAT (Fig. 6 b), APX (Fig. 6 d) e GSH-PX (Fig. 6 e) responderam de maneira oposta aos resultados da SOD (Fig. 6 a) e da GPOX (Fig. 6

c). No entanto, entre si, elas responderam de forma semelhante dentro de cada concentração de EFM para cada condição hídrica estudada.

Dentro da condição de DH, comparando o tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup>) e os outros três tratamentos (10, 20 e 30 g L<sup>-1</sup>) de EFM, os resultados mostram que a menor concentração (10g L<sup>-1</sup>) de EFM aumentou em 37% a atividade das enzimas CAT, APX e GSH-PX respectivamente e a maior concentração (30 g L<sup>-1</sup>) apresentou resposta semelhante para CAT e APX, porém, a atividade da GSH-PX não diferiu do tratamento controle nesta concentração. De forma contrária, a concentração de EFM intermediária (20 g L<sup>-1</sup>) modulou respostas de inibição da atividade de CAT, APX e GSH-PX com decréscimos na atividade enzimática de 26, 15 e 7% respectivamente na condição de DH.



**Figura 6.** Efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações (0, 10, 20 e 30) g L<sup>-1</sup> de EFM em plantas de algodão sob suficiência hídrica (SH) e déficit hídrico (DH) na atividade enzimática antioxidante: a) Superóxido dismutase (SOD), b) Catalase (CAT), c) Guaiacol peroxidase (GPOX), d) Ascorbato peroxidase (APX) e e) Glutaciona peroxidase (GSH-PX). As barras representam  $\pm$  o erro padrão. Médias seguidas por

letras diferentes, minúsculas entre as diferentes condições hídricas em cada concentração de EFM e maiúsculas entre cada concentração de EFM nas diferentes condições hídricas, indicam diferenças pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância entre os tratamentos.

Na condição de SH, quando as concentrações de EFM (10, 20 e 30 g L<sup>-1</sup>) foram comparadas com o tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup>), as maiores reduções ocorreram na concentração de 10 g L<sup>-1</sup>, correspondendo a 72, 27 e 45% respectivamente para CAT, APX e GSH-PX. Nas concentrações de 20 e 30 g L<sup>-1</sup>, a redução da atividade da CAT e APX ficou em média 40%, contudo, essas concentrações não alteraram a atividade da GSH-PX em relação ao tratamento controle nesta condição hídrica.

#### **4.4. Parâmetros de crescimento**

De maneira geral o DH prejudicou o crescimento das plantas de algodão. Quando comparamos os tratamentos controles (0 g L<sup>-1</sup>) de EFM entre as condições de SH e DH (Fig. 7). O DH reduziu em 27 % a altura de planta (Fig. 7 a), 37 % a área foliar (Fig. 6 b), 51 % o número de botões florais (Fig. 6 c) e o conjunto desses danos resultou em decréscimo de 49% da massa seca da parte aérea das plantas (Fig. 7 d).

Porém, a aplicação de EFM nas plantas de algodão sob DH desencadeou respostas de atenuação dos efeitos do déficit hídrico, o que resultou em redução dos danos do déficit hídrico ao crescimento desta cultura. Essas respostas variaram de acordo com a concentração de EFM utilizada. Neste sentido, 10, 20 e 30 g L<sup>-1</sup> de EFM respectivamente promoveram incrementos de 17, 10 e 10% na altura de plantas; 32, 23 e 4% na área foliar; 34, 23 e 18% no número de botões florais e 24, 16, 9% na massa seca da parte aérea das plantas de algodão sob DH quando comparadas com o tratamento controle (0 g L<sup>-1</sup>) de EFM desta mesma condição hídrica.

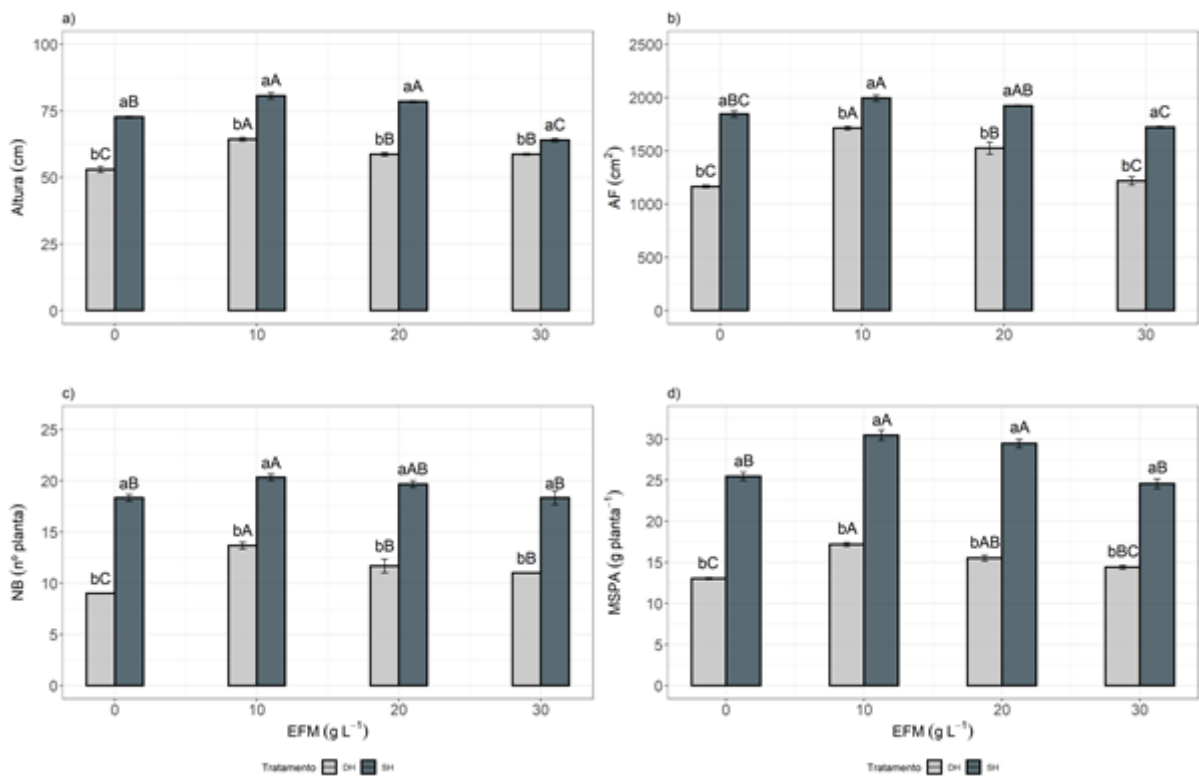


Figura 7. Efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações (0, 10, 20 e 30) g L<sup>-1</sup> de EFM em plantas de algodão sob suficiência hídrica (SH) e deficit hídrico (DH) nos parâmetros de crescimento: a) altura, b) área foliar (AF), c) número de botões (NB), e d) massa seca da parte aérea (MSPA). As barras representam  $\pm$  o erro padrão. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas entre as diferentes condições hídricas em cada concentração de EFM e maiúsculas entre cada concentração de EFM nas diferentes condições hídricas, indicam diferenças pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância entre os tratamentos.

## 5. DISCUSSÃO

O status hídrico da planta está intrinsecamente relacionado com os parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de crescimento, portanto, a redução do CRA na planta é uma das primeiras respostas às condições de seca (Hu et al., 2018). Como observado neste trabalho, plantas de algodão submetidas ao déficit hídrico, reduziram significativamente o CRA foliar, o que consequentemente danificou o conteúdo de pigmentos fotossintéticos e a eficiência quântica do PSII. Resultados semelhantes

foram obtidos também para *Gossypium hirsutum* (Hu et al., 2021; Loka et al., 2020), *Zea mays* (Maswada et al., 2018), *Solanum lycopersicum* (Lobato et al., 2021) e *Glicina max* (Hanafy, 2017) na condição de seca. Portanto, de maneira geral, o baixo CRA foliar inicialmente inibe a condutância estomática devido ao fechamento dos estômatos via sinalização hormonal do ABA (Hussain et al., 2012) e em condições mais severas provoca foto-oxidação, degradação das clorofilas e deterioração dos cloroplastos via estresse oxidativo (Vurayai et al., 2011).

Neste contexto, observamos que a aplicação de EFM preservou o CRA foliar e a eficiência quântica do PSII em níveis ideais mesmo nas plantas de algodão sob deficit hídrico, assim como o incremento do teor de carotenoides e clorofilas totais em ambas as condições hídricas. Os efeitos benéficos do EFM nesses parâmetros estão relacionados com a composição química (fitohormônios, antioxidantes, aminoácidos) e mineral das folhas de moringa (Arif et al., 2022) e as respostas metabólicas que esses compostos desencadeiam para o crescimento ou para a tolerância ao estresse nas plantas (Zulfiqar et al., 2020).

O EFM é rico em citocininas (Zeatina), hormônio responsável pela prevenção da senescência foliar, de forma que protege as clorofilas (Yasmeen et al., 2012; Rady et al., 2015; Abd El-Hack et al., 2018) e possui elevado teor de nutrientes, dentre estes o magnésio, elemento fundamental para a constituição das clorofilas (Zaki & Rady, 2015) o que pode estar diretamente relacionado com o aumento dos teores de clorofilas totais, tanto na condição de suficiência como de deficit hídrico nas concentrações intermediárias de EFM utilizadas neste trabalho.

Além disso, o EFM apresenta em sua composição teores significativos de antioxidantes, dentre eles carotenóides ( $\alpha$ ,  $\beta$  caroteno, xantina e luteína), moléculas importantes tanto para a fotoproteção das clorofilas via complexo antena, como na eliminação de ERO (Zaki & Rady, 2015; Abd El-Hack et al. 2018). Portanto, a aplicação de EFM promoveu aumento dos teores de carotenoides das plantas de algodão em ambas as condições hídricas, o que proporcionou maior proteção às moléculas de clorofilas, assim como a manutenção da eficiência quântica do PSII em condições ideais mesmo sob deficit hídrico.

Neste caso, a manutenção da eficiência quântica do PSII indica que o fluxo excessivo de fótons causado pelo déficit hídrico foi reduzido, o que resultou em menor fotoinibição (Khoshbakht & Asgharei, 2015). Portanto, assim como os resultados observados para algodão neste trabalho, a aplicação de EFM apresentou resultados bioestimulantes no teor de pigmentos fotossintéticos, atividade do fotossistema e eficiência quântica do PSII em *Phaseolus vulgaris* sob salinidade (Abd El-Mageed et al., 2017) e *Zea mays* sob estresse térmico (Batool et al., 2019).

Um dos efeitos mais danoso do déficit hídrico nas plantas é a formação excessiva de ERO devido à junção de moléculas de O<sub>2</sub> com elétrons que escapam da rota normal nas vias respiratórias assim como na cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese (Ali, 2017). Por sua vez, o acúmulo de ERO provoca estresse oxidativo nas plantas, causando danos às células, proteínas, ácidos nucleicos, lipídios de membrana, entre outros (Nadeem et al., 2019; Alves et al., 2020). Neste sentido, a quantificação do teor de MDA, é um excelente indicador do estresse oxidativo nos tecidos vegetais (Hu et al., 2016) e neste trabalho ficou evidente que os efeitos do déficit hídrico provocam elevada peroxidação lipídica nas plantas de algodão. Porém, satisfatoriamente a aplicação de EFM nas plantas de algodão promoveram redução do estresse oxidativo, uma vez que reduziram a peroxidação lipídicas.

Em concordância, Maswada et al. (2018) e Pervez et al. (2017) estudando o potencial do EFM para atenuar os efeitos da seca em plantas de *Zea mays*, observaram que a aplicação de EFM promoveu redução da peroxidação lipídica. Resultados similares foram observados por Khalofah et al. (2020) em plantas de *Phaseolus vulgaris* sob estresse por Cd. Portanto, esses efeitos positivos da aplicação de EFM na redução dos níveis de MDA podem estar intimamente ligados ao sistema de defesa antioxidante que por meio da ação enzimática remove ERO, o que torna as plantas mais tolerantes a condições de estresses (Niu e Liu, 2016; Alves et al., 2020).

Vale ressaltar que as ERO além de atuar como produtos tóxicos que causam danos as células, também atuam como moléculas sinalizadoras, ativando diferentes respostas hormonais e enzimáticas (Suzuki et al., 2011). Os sistemas antioxidantes por sua vez, são os responsáveis por manter as ERO a um nível não tóxico (Mansoor et al., 2022). Nossos resultados mostram que o déficit hídrico aumenta a produção de

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas plantas de algodão, o que pode ser muito bem correlacionado com o aumento da peroxidação lipídica das plantas sob esta condição hídrica. Porém, a aplicação de EFM promoveu efeitos diferentes tanto em relação à condição hídrica, como em relação às concentrações utilizadas, o que pode estar atrelado ao seu potencial atenuador do estresse e bioestimulante do crescimento (Arif et al., 2022; Zulfiqar et al., 2020).

Na condição de estresse, o EFM desencadeou respostas antioxidantes e promoveu redução do conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Resultados semelhantes foram obtidos quando se aplicou ABA e MT em *Gossypium hirsutum* sob deficit hídrico (Hu et al., 2021; Khattak et al., 2021) e EFM em *Phaseolus vulgaris* sob salinidade (Howladar, 2014; Rody & Mohamed, 2015), o que evidencia a interação entre hormônios e ERO para as respostas de defesa antioxidante nas plantas sob estresse, assim como o potencial do uso de EFM para essas respostas em plantas. Em condição hídrica suficiente, onde o conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> naturalmente estava em equilíbrio, o EFM promoveu aumento gradativo do conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para cada concentração.

Alves et al. (2022) observou que a aplicação AsA em plantas de *Arachis hypogea* cultivadas em condições de salinidade da água, aumentou o conteúdo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, no entanto nesta mesma condição os pigmentos fotossintéticos, a atividade antioxidante enzimática e os parâmetros de crescimento foram melhorados, tanto na condição controle, como na condição de salinidade. Esses efeitos podem estar atrelados a interação dos compostos enzimáticos e hormonais contidos no EFM com as ERO. Uma vez que as ERO atuam como sinalizadores nos processos de ativação ou inativação de fatores de transcrição, responsáveis pela modulação de respostas enzimáticas e hormonais, necessárias para estimular o crescimento das plantas (Mansoor et al., 2022).

Em relação ao sistema de defesa antioxidante enzimático, observamos que o deficit hídrico naturalmente estimulou o aumento da atividade das enzimas (SOD, APX e GSH-PX), o que pode estar relacionado ao próprio mecanismo de defesa ao estresse da cultura do algodão (Ahmad et al., 2010; Sekmen et al., 2014; Khattak et al., 2021). Contudo, a atividade de CAT e GPOX foram reduzidas. No entanto, a atividade de cada enzima depende do tipo de estresse e dos mecanismos utilizados

por cada espécie (Mansoor et al., 2022). Portanto, observando os efeitos do EFM na atividade enzimática das plantas de algodão, constatamos que dependendo da concentração ele pode atuar potencializando ou reduzindo a atividade enzimática. Segundo Elzaawely et al. (2017) esse mecanismo de dose resposta se deve ao fato de o EFM possuir diferentes compostos que participam ativamente do metabolismo das plantas. De maneira geral, o aumento gradativo da SOD e da GPOX nas plantas de algodão em ambas as condições hídricas por meio da aplicação de EFM evidenciam fortemente sua capacidade de atenuar os efeitos do estresse, uma vez que a SOD é descrita como a primeira enzima da linha de defesa contra ERO sendo responsável pela conversão de  $O_2^-$  em  $H_2O_2$  pelo processo de dismutação, que também reduz a formação de  $OH^-$  (Lu et al., 2017; Alves et al., 2018).

Além disso, sistematicamente o  $H_2O_2$  gerado a partir da atividade da SOD e de outros processos metabólicos pode ser eliminado por várias enzimas que realizam redução do  $H_2O_2$  à  $O_2$  e  $H_2O$  (CAT, GPOX, APX e GSH-PX) (Gratão et al., 2015; Liu et al., 2015; Alves et al., 2018). Neste sentido, em condição de deficit hídrico, a concentração de  $10\text{ g L}^{-1}$  de EFM aumentou a atividade dessas enzimas e reduziu o estresse oxidativo nas plantas de algodão. Semelhante a esses resultados, o EFM melhorou a atividade de CAT e APX em *Glicina max* sob seca (Hanafy, 2017), assim como Khalofah et al. (2020) observou maior a atividade CAT e SOD em *Lepidium sativum* sob estresse por metal pesado.

Esses resultados estão relacionados a capacidade do EFM em disponibilizar para as plantas, moléculas que atuam na composição de proteínas, ou como substrato para a atividade enzimática, como por exemplo o AsA que doa elétrons para a atividade da APX que elimina  $H_2O_2$  tanto no ciclo água-água como pelo ciclo ascorbato glutationa (Singh et al., 2015), assim como outras moléculas: fenóis, flavonoides, carotenóides e tocoferol, vitaminas e aminoácidos que estão envolvidas nos sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (Arif et al., 2022).

O crescimento das plantas é o resultado da interação dos fatores ambientais com os processos metabólicos e fisiológicos das plantas, neste sentido o deficit hídrico afetou de forma considerável o comprimento, a área foliar, o número de botões florais e a massa seca da parte aérea das plantas de algodão. Portanto, essa redução do

crescimento é resultado do desequilíbrio da homeostase celular causado pelo déficit hídrico nas plantas (Mukarram et al., 2021). A aplicação de EFM (10 g L<sup>-1</sup>) foi eficiente para aumentar os parâmetros de crescimento das plantas de algodão, tanto na condição de suficiência como de déficit hídrico. Estes resultados são reflexos dos efeitos do EFM no restabelecimento dos processos fisiológicos e bioquímicos de plantas sob déficit hídrico, assim como da bioestimulação dos processos de crescimento dessas plantas em condição de suficiência hídrica como observamos neste trabalho. Em concordância com esses resultados, a aplicação de extrato a base de moringa estimulou o aumento dos pigmentos fotossintéticos, antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, osmoprotetores e os parâmetros de crescimento de *Solanum tuberosum*, *Solanum lycopersicum*, *Raphanus sativus* (Culver et al., 2012; Ashraf et al., 2016; Elrys et al., 2018;).

Além dos incrementos dos compostos antioxidantes, Zulfiqar et al., (2020) relata que o extrato de EFM aplicado em *Eruca vesicaria* e *Phaseolus vulgaris* aumentou a concentração de auxinas endógenas, giberelinas e citocininas, o que melhorou o crescimento e a biomassa das plantas (Zulfiqar et al.2020). Porém a aplicação de EFM apresenta efeito opostos nos níveis dos fitohormônios, Elzaawely et al. (2017) relata que baixa concentração de EFM líquido (1:30) aumentou o teor de ABA, enquanto alta concentração (1:20) diminuiu o teor de ABA. Outros fitohormônios como auxinas, giberelinas e citocininas respondem de forma diferente as concentrações de EFM (Abdalla, 2013; Latif e Mohamed 2016; Zulfiqar et al., 2020). O que pode explicar os efeitos de elevadas concentrações de EFM na redução dos parâmetros de crescimentos das plantas.

De maneira geral, nossos resultados mostram que o extrato aquoso de folhas de moringa liofilizado, quando aplicado em plantas de algodão (*Gossypium hirsutum*) cultivar BRS 286 promoveu respostas atenuantes dos efeitos do déficit hídrico, assim como respostas bioestimulantes do crescimento dessa cultura em condições hídricas ideais. Estas respostas se deram principalmente pela manutenção do CRA foliar e eficiência quântica do PSII, aumento dos teores de pigmentos fotossintéticos e antioxidantes, aumento das enzimas SOD, GPOX, CAT, APX e GSH-PX que reduziram significativamente a peroxidar lipídica. Em resposta ao melhor funcionamento desses mecanismos bioquímicos e fisiológicos os parâmetros de

crescimento: altura, área foliar, número de botões florais e massa seca da parte aérea foram melhorados significativamente em ambas as condições hídricas.

## 6. CONCLUSÕES

A concentração de 10 g L<sup>-1</sup> de EFM mostrou-se eficiente tanto como atenuante dos efeitos do déficit hídrico (40% da CAD) como bioestimulante do crescimento das plantas de algodão sob SH (80% da CAD). As concentrações mais elevadas de EFM reduziram os parâmetros de crescimento das plantas de algodão em ambas as condições hídricas. Portanto, o extrato de folhas de moringa apresenta grande potencial de uso como atenuante dos efeitos dos estresses ou bioestimulante natural economicamente viável para agricultura sustentável.

## 7. REFERÊNCIAS

- Abd El-Hack ME, Alagawany M, Elrys AS, Desoky E-SM, Tolba HMN, Elnahal ASM, Elnesr SS, Swelum AA (2018) Effect of forage *Moringa oleifera* L. (moringa) on animal health and nutrition and its beneficial applications in soil, plants and water purification. **Agriculture** 8:145:
- Abd El-Mageed TA, Semida WM, Rady MM (2017) Extrato de folha de *Moringa* como bioestimulante melhora a eficiência do uso da água, atributos físico-bioquímicos de plantas de abóbora sob irrigação deficitária. **Agric Water Manag** 193:46–54.
- Abdalla, MM (2013) O potencial do extrato de *Moringa oleifera* como bioestimulante no aumento do crescimento, conteúdo bioquímico e hormonal em plantas de rúcula (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) **Int. J. Plant Physiol. Bioquímica.**, 5, pp. 42 – 49
- ABRAPA (2022) Associação brasileira dos produtores de algodão. **www.abrapa.com.br**
- Adefisan E (2018) Climate change impact on rainfall and temperature distributions over West Africa from three IPCC scenarios. **J Earth Sci Clim Chang** 9: 476.

Agro Insight. Fases fenológicas da cultura do algodão;  
<https://agroinsight.com.br/as-mini-metas-da-producao-de-algodao/>

Ahmad P, Jaleel CA, Salem MA, Nabi G. Sharma S (2010) Papéis de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos em plantas durante o estresse abiótico. **Crítico. Rev. Biotechnol.** 30, 161-175

Alexieva V. Sergiev I. Mapelli S. Karanov E. (2001). The effect of drought and ultravioleta radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment** 24, 1337-1344.

Ali, B. (2017) Salicylic acid induced antioxidant system enhances the tolerance to aluminium in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) plants. **Indian Journal of Plant Physiology**, 22, 178– 189.

Ali EF. FAS Hassan FAZ. Elgimabi M. (2018) Improving the growth, yield and volatile oil content of *Pelargonium graveolens* L. Herit by foliar application with moringa leaf extract through motivating physiological and biochemical parameters. **S. Afr. J. Bot.**, 119, 83 - 389:

Alves RC, Medeiros AS, Nicolau MCM, Pizolato NA, Oliveira FA, Lima LW, Tezoto T, Gratão PL (2018) The partial root-zone saline irrigation system and antioxidant responses in tomato plants *Plant Physiol. Biochem.*, 127 (2018), pp. 366-379. 127, pp. 366 - 379,

Alves RC, Nicolau MCM, Checchio MV, Junior GSJ, Oliveira FA, Prado RM, Gratão PL (2020) Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. **Bragantia**, 79 (2020), pp. 1-11,

Alves RC. Oliveira KR. Lúcio JCB. Silva JS. Carrega WC. Queiroz SF. Gratão PL (2022) Exogenous foliar ascorbic acid applications enhance salt-stress tolerance in peanut plants throughout an increase in the activity of major antioxidant enzymes. **South African Journal of Botany.** 150, 759-767.

Anderson, J.V., Davis, D.G. (2004). Abiotic stress alters transcript profiles and activity of glutathione S-transferase, glutathione peroxidase, and glutathione reductase in *Euphorbia esula*. **Physiologia Plantarum** 120, 421-433.

Anjum AS, Ashraf U, Tanveer M, Khan EU, Hussain S, Shahzad B, Zohaib A, Abbas F, Salém MF, Ali EU (2017) Mudanças induzidas pela seca no crescimento, acúmulo de osmólitos e metabolismo antioxidante de três híbridos de milho. **Frente. Ciência das Plantas.** 8, 69.

Arif Y, Bajguz A, Hayat S (2022) Moringa oleifera Extract as a Natural Plant Biostimulant. **Journal of Plant Growth Regulation.**

Batool A, Wahid A, Abbas G, Shah SH, Akhtar MN, Perveen N, Hassnain Z (2019) Application of Moringa oleifera plant extracts for enhancing the concentration of photosynthetic pigments leading to stable photosynthesis under heat stress in maize (*Zea mays* L.). **Pak J Bot.**

Beltrão N E de M, Oliveira M I P de, Lucena A M A de, Santos J W, Sousa J G de (2010) Modificações no algodoeiro herbáceo super precoce sob influência do cloreto de mepiquat. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 14, n. 1, p. 29-35, 2010.

Bhattacharjee S (2019) ROS e estresse oxidativo: origem e implicação. In: Espécies reativas de oxigênio em biologia vegetal (pp. 1-31). **Springer**, Nova Deli.

García-Caparrós P, De Filippis L, Gul A (2021) Oxidative Stress and Antioxidant Metabolism under Adverse Environmental Conditions: a Review. **Bot. Rev.** 87, 421–466.

Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada, **CEPEA**. PIB Cadeias Do Agronegócio –2017. Piracicaba, 202

Cia MC, Guimarães ACR, Medici LO, Chabregas SM, Azevedo RA. (2012) Antioxidant response to water deficit by drought tolerant and sensitive sugarcane varieties. **Annals of Applied Biology** 161, 313-324.

Chung WH (2017) Unraveling new functions of superoxide dismutase using yeast model system: Beyond its conventional role in superoxide radical scavenging. **Journal of Microbiology** 55: 409-416.

Czarnocka C, Karpiński S (2018) Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. **Free Radical Biology and Medicine** 122:4-20.

Desoky ESM, Elrys AS, Rady MM (2019) Integrative moringa and licorice extracts application improves *Capsicum annum* fruit yield and declines its contaminant contents on a heavy metals-contaminated saline soil. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 169, 50-60:

Dias A S, Santos C C (2023) O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.) Estudos em Ciências Florestais e Agrárias. Campina Grande: **Licuri**, 2023, p. 73-100

Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

Elrys AS, Merwad A-RMA, Abdo AIE, Abdel-Fatah MK, Desoky E-SM (2018) Does the application of silicon and moringa seed extract reduce heavy metals toxicity in potato tubers treated with phosphate fertilizers? **Environ Sci Pollut Res** 25:16776–16787.

El-Serafy RS, El-Sheshtawy AA (2020) Effect of nitrogen fixing bacteria and moringa leaf extract on fruit yield, estragole content and total phenols of organic fennel. **Sci Hortic** 265:109209.

Faisal Zulfiqar, Andrea Casadesús, Henry Brockman, Sergi Munné-Bosch (2020) An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts, **Plant Science**. 295..

Ferraz, R L S (2012) Crescimento, fisiologia e produção do algodoeiro sob efeito do silício via foliar. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias), Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba.

Flexas J, Bota J, Loreto F, Cornic G, Sharkey TD (2004) Limitações difusivas e metabólicas à fotossíntese sob seca e salinidade em plantas C3. **Planta Biol.** 6, 269–279.

Giannopolitis CN, Ries SK (1977) Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology** 59, 309-314.

Gratão PL, Monteiro CC, Carvalho RF, Tezotto T, Piotto FA, Peres LEP, Azevedo RA (2012) Biochemical dissection of diageotropica and Never ripe tomato mutants to Cd stressful conditions. **Plant Physiology and Biochemistry** 56, 79-96.

Gratão PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA (2005) Making the life of heavy metal stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 481-494, 2005.

Gratão PL, Monteiro CC, Tezotto T, Carvalho RF, Alves LR, Peters LJ, Azevedo RA (2015) Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants **Biometals**. 28, pp. 803-816,

Haigh N e Griffiths A (2009) The natural environment as a primary stakeholder: the case of climate change. **Bus Strateg Environ** 18(6): 347–359.

Hala HA, El-Nour A, Ewais NA (2017) Effect of Moringa oleifera leaf extract (MLE) on pepper seed germination, seedlings improvement, growth, fruit yield and its quality. **Middle East Journal of Agriculture Research**. 6, 448-463: ISSN 2077-4605

Hanafy R (2017) Using Moringa olifera leaf extract as a bio-fertilizer for drought stress mitigation of Glycine max L. plants. **Egypt J Bot** 57:281–292.

He H, Breusegem FV, Mhamdi A (2018) Redox-dependent control of nuclear transcription in plants. **Journal of Experimental Botany** 69: 3359-3372.

Hu W, Yang J, Meng Y, Wang Y, Chen B, Zhao W, Oosterhuis DM, Zhou Z (2015). Potassium application affects carbohydrate metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll and its relationship with boll. **Field Crops Research**, 179, 120 – 131.

Hu W, Snider JL, Wang H, Zhou Z, Chastain DR, Whitaker J, Perry CD, Bourlandd FM (2018) Water-induced variation in yield and quality can be explained by altered yield component contributions in field-grown cotton. **Field Crops Research**, 224, 139 – 147.

Hu W, Zhang J, Yan K, Zhou Z, Zhao W, Zhang X, Pu Y, Yu R (2021) Beneficial effects of abscisic acid and melatonin in overcoming drought stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Physiologia Plantarum**. 173, 2041-2054,

Hippler FWR, Boaretto RM, Quaggio JA, Azevedo RA, Mattos Junior D (2015) Towards soil management with Zn and Mn: estimates of fertilisation efficacy of Citrus trees. **Annals of Applied Biology** 166:484-495.

IPCC (2021) Sumário para Formuladores de Políticas. Em: Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Masson-Delmotte, VP. Zhai, A. Pirani, SL. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, MI. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. **Cambridge University Press**.

Iqbal J, Faheem M, Roman M, Magsi S, Rauf H, Arif Z, Khaliq T, Tahir M (2023) Climate change effects on cotton planting date and planting density using modelling techniques: Review. **Pure and Applied Biology**. Vol. 12, Issue 1, pp732-753

ITC (2019) Mapa Comercial – Lista de produtos exportados para o produto selecionado (Algodão). Disponível em: <https://www.trademap.org/tradestat/Product>.

Kadkhodaie A, Kelich S, Baghbani A (2012) Effects of salinity levels on heavy metals (Cd, Pb and Ni) absorption by sunflower and sudan grass plants. *Bul. Environ. Pharmacol. Life Sci.*, 1 (2012), pp. 47-53

Kamal-Eldin A, Appelqvist L Å (1996) The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. **Lipids**, 31, 671–701

Khalofah A, Bokhari NA, Migdadi HM, Alwahibi MS (2020) Antioxidant responses and the role of *Moringa oleifera* leaf extract for mitigation of cadmium stressed *Lepidium sativum* L. **S Afr J Bot** 129:341–346.

Khattak WA, He J, Abdalmegeed D, Hu W, Wang Y, Zhou Z (2021) Foliar melatonin stimulates cotton boll distribution characteristics by modifying leaf sugar metabolism and antioxidant activities during drought conditions. **Physiologia Plantarum**, 174. <https://doi.org/10.1111/ppl.13526>

- Latif HH, Mohamed HI (2016) Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. **S Afr J Bot** 106:221–231.
- Li W, Wang Y, Zhang Y (2020) Impactos do estresse hídrico na morfologia, fisiologia e teor de açúcar do lírio de Lanzhou (*Lilium davidii* var. *unicolor*). **Planta Acta Physiol** 42, 127.
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids; pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology** 148, 350-382.
- Liu SL, Yang RJ, Ma MD, Dan F, Zhao FY, Jiang P, Wang MH (2015) Effects of exogenous NO on the growth, mineral nutrient content, antioxidant system, and ATPase activities of *Trifolium repens* L. plants under cadmium stress. **Acta Fisiol. Plantarum**. 37, pp. 1-16,
- Lobato AKS. Barbosa MAM. Alsahli AA. Lima EJA. Silva BRS (2021) Exogenous salicylic acid alleviates the negative impacts on production components, biomass and gas exchange in tomato plants under water deficit improving redox status and anatomical responses. **Physiologia Plantarum**, 172, 869 - 884
- Loka DA. Oosterhuis DM. Baxevanos D. Noulas C. & Hu, W. (2020) Single and combined effects of heat and water stress and recovery on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf physiology and sucrose metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, 148, 166–179.
- Lu T, Meng Z, Zhang G, Qi M (2017) Sub-high Temperature and High Light Intensity Induced Irreversible Inhibition on Photosynthesis System of Tomato Plant (*Solanum lycopersicum* L.). **Frontiers. Plant Sci.** 8, 365.
- Ma P, Bai TH, Ma F W (2015) Efeitos da seca progressiva na fotossíntese e na partição da luz absorvida em macieiras. **J. Integr. Agrícola**. 14, 681–690
- Mansoor S. Wani AO. Lone JK. Manhas S. Kour N. Alam P. Ahmad A. Ahmad (2022) Reactive Oxygen Species in Plants: **From Source to Sink. Antioxidants**. 11(2), 225;
- Marur C J, Ruano O (2001) A reference system for determination of cotton plant development. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 5, n. 2, p. 313-317.

Maruta T, Sawa Y, Shigeoka S, Ishikawa T (2016) Diversity and evolution of ascorbate peroxidase functions in chloroplasts: More than just a classical antioxidant enzyme? **Plant and Cell Physiology** 57: 1377-1386.

Maswada HF, Abd El-Razek UA, El-Sheshtawy A-NA, Elzaawely AA (2018) Morpho-physiological and yield responses to exogenous moringa leaf extract and salicylic acid in maize (*Zea mays* L.) under water stress. **Arch Agron Soil Sci** 64:994–1010.

Meyer LA. and Taylor D. (2022) Cotton and Wool Outlook, CWS-22f, U.S. Department of Agriculture, **Economic Research Service**.

Misra V, Salomão S, Shopping AK, Prajapati CP, Hashem A, Abd Allah EF, Ansari MI (2020) Avaliação morfológica da cana-de-açúcar com estresse hídrico: uma comparação entre culturas alagadas e afetadas pela seca. **Saudita J. Biol. Ciência.** 27, 1228–1236.

Mittler R (2002) Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405–410

Mittler, R. (2017) ROS are good. **Trends in Plant Science** 22: 11-19.

Monteiro CC. Carvalho RF. Gratão PL. Carvalho G. Tezotto T. Medici LO. Azevedo RA (2011) Biochemical responses of the ethylene-insensitive never ripe tomato mutant subjected to cadmium and sodium stresses. **Environ. Exp. Bot.** 71, 306-320

Mukarram S, Choudhary D, Kurjak A, Petek M. Masroor A. Khan M (2021) Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. **Physiologia Plantarum**.

Nadeem M, Li J, Yahya M, Wang M, Ali A, Cheng A, Wang W, Ma C (2019) Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. *Int. J. Mol. Sci*, 20, pp. 1 - 27,

Neto V FC, Freire EC (2013) Melhoramento genético do algodoeiro/ Melhoramento genético de plantas no Nordeste. Brasília, DF: **Embrapa**, cap. 3, p. 49-83.

Nisar N, Shan LL, Lu S, Khin NC, Pogson BJ (2015) Carotenoid metabolism in plants. **Mol. Plant** 2015, 8, 68–82.

Niu LL, Liao W (2016) Hydrogen Peroxide Signaling in Plant Development and Abiotic Responses: Crosstalk with Nitric Oxide and Calcium. **Frente. Planta Sci.** 7, pp. 1-14,

Niu M, Huang Y, Sun S, Sun J, Cao H, Shabala S, Bie Z. (2018). Root respiratory burst oxidase homologue-dependent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production confers salt tolerance on a grafted cucumber by controlling Na<sup>+</sup> exclusion and stomatal closure. **Journal of Experimental Botany** 69: 3465-3476.

Noctor G, Mhamdi A, Foyer CH (2014) The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. **Plant Physiology** 164:1636-1648.

Oliveira KR. Junior JPS, Bennett SJ, Checchio MV. Alves RC. Felisberto G. Prado RM. Gratão PL (2020) Exogenous silicon and salicylic acid applications improve tolerance to boron toxicity in field pea cultivars by intensifying antioxidant defence systems. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** 201, 110778

Parađiković N, Teklic T, Zeljković S, Lisjak M, Špoljarević M (2019) Pesquisa de bioestimulantes em algumas espécies de plantas hortícolas – uma revisão. **Energia Alimentar Segura.** 8, e00162.

Pervez K, Ullah F, Mehmood S, Khattak A (2017) Effect of *Moringa oleifera* Lam. leaf aqueous extract on growth attributes and cell wall bound phenolics accumulation in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. **Kuwait J Sci** 44:110–118

Pilon, C. Loka, D. Snider, J.L. Oosterhuis, DM. (2019). Drought-induced osmotic adjustment and changes in carbohydrate distribution in leaves and flowers of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, 205, 168–178.

Qiao W, Li C, L. M. Fan L M (2014) Cross-talk between nitric oxide and hydrogen peroxide in plant responses to abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany** 100: 84-93.

Queiroga VP. Ribeiro OR. Bezerra JRC. Galdino PO (2001) Influência do tempo de deslincamento com ácido sulfúrico sobre a qualidade fisiológica da semente de algodão herbáceo. In: Congresso Brasileiro de Algodão, Campo Grande. Resumos, **EMBRAPA.** p.1078-1080.

Quevedo YM, Moreno LP, Barragán E (2022) Predictive models of drought tolerance indices based on physiological, morphological and biochemical markers for the selection of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties. **Journal of Integrative Agriculture**, 21, 1310-1320.

Rady MM, Mohamed GF (2015) Modulation of salt stress effects on the growth, physiochemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. **Sci Hortic** 193:105–113.

Rady MM, Desoky ESM, Elrys AS, Boghdady, MS (2019) O extrato de raiz de alcaçuz pode ser usado como um bioestimulante natural eficaz para feijoeiros comuns estressados com sal? **S. África. J. Bot.** 2019, 121, 294–305

Rajput VD, Harish, Singh RK, Verma KK, Sharma L, Quiroz-Figueroa FR, Meena M, Gour VS, Minkina T, Sushkova S (2021) Desenvolvimentos recentes no mecanismo de defesa antioxidante enzimático em plantas, com referência especial ao estresse abiótico. **Biologia**. 10(4):267.

Sharma P, Jha A, Dubey R, Pessarakli M (2012) Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **J. Bot.**

Sekmen AH, Ozgur R, Uzilday B, Turkman I. (2014) Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars under combined drought and heat induced oxidative stress. **Environ. Exp. Bot**, 99, 141–149. 99, 141-149.

Sheth K (2017) Principais países produtores de algodão do mundo, disponível em: <https://www.worldatlas.com/articles/top-cotton-producing-countries-in-the-world.html>.

Singh R, Hemantaranjan A, Patel, PK (2015) Salicylic acid improves salinity tolerance in field pea (*Pisum sativum* L.) by intensifying antioxidant defense system and preventing salt-induced nitrate reductase (NR) activity loss. *Legume Research*, .38, págs. 202 - 208

Shimizu N, Park PJ (2006) Reactive oxygen species (ROS) generation and ROS induced lipid peroxidation are associated with plasma membrane modifications in host

cells in response to AK-toxin I from *alternaria alternate* japanese pear pathotype. **Journal of General Plant Pathology** 72, 6-15.

SOUSA L B de (2010) O Algodoeiro: Alguns Aspectos Importantes Da Cultura. **Revista Verde**, v. 5, p. 19-26.

Suzuki N, Miller G, Morales J, Shulaev V, Torres MA, Mittler R (2011) Respiratory burst oxidases: the engines of ROS signaling. **Planta Biol.**14, 691-699.

Taia A. Abd El-Mageed, Wael M. Semida, Mostafa M. Rady (2017) Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation, **Agricultural Water Management**. 193, 46-54,

Ton P (2011). Cotton and climate change: impacts and options to mitigate and adapt. **International Trade Centre**. Geneva: ITC,

USDA (2022) US Department of Agricultural: Foreign Agricultural Service. **ipad.fas.usda.gov**

Voora V, Cristina Larrea C, Bermudez S (2020) Global Market Report: Cotton, International Institute for Sustainable Development (IISD) <https://www.jstor.org/stable/resrep26555>

Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH (2017) Bioestimulantes em Ciência de Plantas: Uma Perspectiva Global. **Frente. Ciência das Plantas**. 7, 2049.

Yasmeen A, Basra SMA, Ahmad R, Wahid A (2012) Performance of late sown wheat in response to foliar application of *Moringa oleifera* Lam. leaf extract. **Chil J Agr Res** 72:92–97.

Yang X, Lu M, Wang Y, Wang Y, Liu Z, Chen S (2021) Mecanismo de resposta das plantas ao estresse hídrico. **Horticultura**.7(3):50.

Yuniati N, Kusumiyati K, Mubarak S, Nurhadi B (2022) The Role of Moringa Leaf Extract as a Plant Biostimulant in Improving the Quality of Agricultural Products. **Plants**. 11(17):2186.

Zafar S, Afzal H, Ijaz A, Mahmood A, Ayub A, Nayab A, Hussain S, Hussan M, Sabir M S, Zulfiqar U, Zulfiqar F, Moosa A (2023) Cotton and drought stress: An updated overview for improving stress tolerance, **South African Journal of Botany**, Vol. 161,.

Zaki S-N, Rady M (2015) Moringa oleifera leaf extract improves growth, physiochemical attributes, antioxidant defence system and yields of salt-stressed Phaseolus vulgaris L. plants. **Int J ChemTech Res** 8:120–134

Zhang Y (2013) Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis, Regulation and Enhancement; **Springer**: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 1–114

Zhao W. Dong H. Zhou Z. Wang Y. Hu W. (2020) Potassium (K) application alleviates the negative effect of drought on cotton fiber strength by sustaining higher sucrose content and carbohydrates conversion rate. **Plant Physiology and Biochemistry**, 157, 105–113.

Zhou Y, Hu L, Wu H, Jiang L, Liu S (2017) Genome-wide identification and transcriptional expression analysis of cucumber superoxide dismutase (SOD) family in response to various abiotic stresses. **Int. J. Genom.** 7243973.

Zhou Y, Hu L, Ye S, Jiang L, Liu S (2018) Genome-wide identification of glutathione peroxidase (GPX) gene family and their response to abiotic stress in cucumber. **Biotech.** 8, 159.

Zou J. Hu W. Li Y. He JQ. Zhu HH. Zhou ZG. (2020) Screening of drought resistance indices and evaluation of drought resistance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, 19, 495–508.

Zou J. John L. Snider. Honghai Z. Jiaqi H. Yuxia L. Zhiguo Z. Youhua W. Yali M. Binglin C. Wenqing Z. Shanshan W. Wei H (2022) Soil drought duration and severity affect cotton boll biomass by altering recovery times and carbon dynamics of subtending leaf. **Journal of Agronomy and Crop Science**.

Zulfiqar F, Casadesús A, Brockman H, Munné-Bosch S (2020) An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. **Plant Sci** 295:110194.

