

**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 15:49:15-0300  
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.

## 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, Lubyantsev 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.

