UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

EFEITO DO METIL JASMONATO EM PLANTAS DE ALGODÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RAFAELA SUNIGA CAMARGO

FCAV - Unesp
2026

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

EFEITO DO METIL JASMONATO EM PLANTAS DE ALGODÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RAFAELA SUNIGA CAMARGO

Orientadora: Profª. Drª Priscila Lupino Gratão
Coorientadora: MSc. Eduarda Gonçalves Reis
Coorientadora: Drª. Júlia Karoline Rodrigues das Mercês

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

FCAV – Unesp
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

C172e

Camargo, Rafaela Suniga
Efeito do metil jasmonato em plantas de algodão sob déficit hídrico / Rafaela Suniga Camargo. -- Jaboticabal, 2026
26 p. : tabs. + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Priscila Lupino Gratão
Coorientadora: Eduarda Gonçalves Reis

1. Fisiologia vegetal. 2. Estresse oxidativo. 3. Antioxidantes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

AUTOR
RAFAELA SUNIGA CAMARGO

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO
EFEITO DO METIL JASMONATO EM PLANTAS DE ALGODÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Profa. Dr. Priscila Lupino Gratão

Coorientadora: Me. Eduarda Gonçalves Reis

Área de Concentração: Fisiologia Vegetal

Data da defesa: 30/06/2026

(x) Aprovado
( ) Reprovado

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão
Docente do Departamento de Biologia - FCAV/UNESP

Me. Carlos Vital Gonzalez Porras
Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal) – FCAV/UNESP

Prof. Dr. Emerson Fachini
Docente do Centro Universitário de Rio Preto – UNIRP - São José do Rio Preto, SP

Aprovado em reunião Departamental em: 08/07/2026

Prof. Dr. Eduardo Custódio Gasparino
Chefe do Departamento

Dedico este trabalho à minha família, principalmente ao meu pai Wagner e à minha irmã Júlia, que sempre estiveram ao meu lado para que eu tivesse condições de obter uma boa formação. Sou imensamente grata também aos meus amigos, que sempre confiaram em mim durante todos esses anos de graduação.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial ao meu pai Wagner e à minha irmã Júlia, que estiveram comigo em todos os momentos, me apoiando para que eu pudesse ter uma boa formação.

À minha mãe, que onde quer que esteja, continua sendo meu maior incentivo. Foi ela quem me deu coragem para ir atrás do meu sonho de fazer Biologia longe de casa, e é dela a força que me sustenta até hoje.

Aos meus amigos, os antigos e os que a graduação me deu, por cada momento de descontração que fez a vida acadêmica ficar mais leve e por sempre acreditarem em mim.

À Profª Drª Priscila Lupino Gratão, que me orientou com tanta disponibilidade e confiança desde o primeiro contato por e-mail até hoje.

À funcionária do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia, Sra. Sônia Maria Raymundo Carregari, pelo acolhimento de sempre, por deixar o laboratório um lugar mais gostoso de estar e por todo o acompanhamento no dia a dia.

As minhas coorientadoras Eduarda Gonçalves Reis e Júlia Karoline das Mercês pela oportunidade de estudar mais sobre a fisiologia vegetal e por toda a disponibilidade nos momentos que precisei e por sempre ter acreditado no meu potencial para montar o experimento desde o começo.

Ao Carlos Vital Gonzalez, por todo o suporte e disponibilidade ao longo do experimento, agradeço pelo auxílio nas análises, nas discussões dos resultados e pelas valiosas contribuições que enriqueceram este trabalho.

À Lara Nakamura, meu profundo agradecimento por ter me acompanhado na coleta do experimento e nas análises, e especialmente por ter me ensinado com paciência e clareza a interpretar os resultados obtidos. Ambos foram fundamentais para que cada etapa fosse concluída com qualidade.

À minha república, Coronelas, que me acolheu desde o primeiro dia da graduação e fez com que essa jornada fosse mais leve e divertida, especialmente nos momentos difíceis.

Ao CNPQ pelo incentivo da Ciência e pela oportunidade da iniciação científica.

Aos membros do Laboratório de Fisiologia Vegetal por toda a disponibilidade e afeto durante todo o período que estive presente.

E por fim, mas não menos importante, a todos que contribuíram para a minha jornada, mas que não foram citados diretamente aqui.

SUMÁRIO

Página

RESUMO i

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS 2

3. REVISÃO DE LITERATURA 3

3.1. O papel histórico e socioeconômico do algodão 3

3.2. Estresses que afetam o estabelecimento e desenvolvimento do algodoeiro 4

3.3. Estresse oxidativo e espécie reativas de oxigênio (ERO) em plantas 5

3.4 O metil jasmonato nos sistemas de produção vegetal 6

4. MATERIAIS E MÉTODOS 7

4.1. Material vegetal e condução do experimento 7

4.2 Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos avaliados 9

4.2.1 Análises de crescimento 9

2.4.2 Conteúdo relativo de água 9

4.2.3 Análise dos Pigmentos Vegetais 9

4.2.4 Análise de estresse oxidativo 10

4.3. Análise Estatística 11

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 11

5.1 Análises de crescimento e conteúdo relativo de água 11

5.2. Análise dos Pigmentos Vegetais 14

5.3. Análise de estresse oxidativo. 18

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 23

EFEITO DO METIL JASMONATO EM PLANTAS DE ALGODÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO - O algodoeiro está sujeito a diversos estresses abióticos que comprometem seu desenvolvimento e produtividade, sendo o déficit hídrico um dos mais limitantes. A escassez de água reduz a absorção hídrica, ocasiona fechamento estomático, queda na taxa fotossintética e acúmulo de espécies reativas de oxigênio, gerando danos estruturais e metabólicos. Como forma de defesa, a planta ativa mecanismos fisiológicos e bioquímicos, como o acúmulo de prolina e manutenção do equilíbrio osmótico. O metil jasmonato, um regulador de crescimento vegetal, tem se mostrado promissor na indução da tolerância ao estresse hídrico, promovendo ajustes osmóticos e proteção antioxidante. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar parâmetros biométricos e bioquímicos do algodão (*Gossypium hirsutum L*.) em resposta à aplicação exógena do metil jasmonato sob condições de estresse por déficit hídrico. Foram avaliados parâmetros como altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, matéria seca, teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila e carotenoides), peroxidação lipídica (MDA), teor de prolina. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As diferenças significativas entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram que a aplicação de metil jasmonato atenuou parcialmente os efeitos do déficit hídrico, promovendo incrementos significativos no conteúdo relativo de água e nos teores de clorofilas e carotenoides, além de reduzir os níveis de peróxido de hidrogênio e elevar os níveis basais de prolina, indicando preservação do aparato fotossintético e modulação do estresse oxidativo.

Palavras-chave: Regulador vegetal, estresse oxidativo, antioxidantes, estresse abiótico.

EFFECT OF METHYL JASMONATE ON COTTON PLANTS UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT - Cotton (Gossypium hirsutum L.) is subjected to various abiotic stresses that compromise its development and productivity, with water deficit being one of the most limiting factors. Water scarcity reduces water uptake, promotes stomatal closure, decreases photosynthetic rate, and leads to the accumulation of reactive oxygen species (ROS), resulting in structural and metabolic damage. As a response, the plant activates physiological and biochemical defense mechanisms, such as proline accumulation and maintenance of osmotic balance. Methyl jasmonate, a plant growth regulator, has shown promise in inducing tolerance to water deficit by promoting osmotic adjustment and antioxidant protection. Therefore, this study aimed to evaluate biometric and biochemical parameters of cotton (Gossypium hirsutum L.) in response to exogenous application of methyl jasmonate under water deficit stress conditions. Parameters such as plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, dry matter, photosynthetic pigment content (chlorophyll and carotenoids), lipid peroxidation (MDA), and proline content were evaluated. Data were subjected to analysis of variance by the F test, and significant differences between treatments were compared by Tukey's test at 5% probability. The results demonstrated that methyl jasmonate application partially attenuated the effects of water deficit, promoting significant increases in relative water content and chlorophyll and carotenoid levels, in addition to reducing hydrogen peroxide levels and increasing basal proline levels, indicating preservation of the photosynthetic apparatus and modulation of oxidative stress.

Keywords: Plant regulator, oxidative stress, antioxidants, abiotic stress.

1. INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das culturas agrícolas mais relevantes do mundo, sendo amplamente cultivado para a produção de fibras têxteis e, mais recentemente, para fins industriais e alimentícios, por meio do aproveitamento do óleo e da torta de algodão (ZHANG et al., 2020). A crescente demanda por fibras naturais e produtos sustentáveis tem impulsionado a expansão da cotonicultura em diversas regiões produtoras, especialmente em países tropicais e subtropicais (VITALE et al., 2024).

O Brasil se destaca como um dos principais produtores e exportadores mundiais de algodão, ocupando posição de liderança na produção da fibra em sistemas altamente tecnificados e mecanizados. Na safra de 2024/25, a produção nacional alcançou cerca de 3,9 milhões de toneladas de pluma, com destaque para o estado de Mato Grosso, responsável por 72% da produção brasileira (CONAB, 2025).

Para alcançar altos níveis de produtividade no algodão, é essencial o fornecimento de condições ambientais favoráveis ao longo do ciclo da cultura, especialmente durante os estágios de floração e formação de capulhos, quando há maior demanda por água e nutrientes (RAHMAN et al., 2021). No entanto, fatores abióticos como seca, salinidade e temperaturas extremas representam sérias ameaças ao desenvolvimento das plantas. Entre esses fatores, a seca se destaca como o estresse abiótico mais limitante, interferindo negativamente em processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, reduzindo significativamente a produtividade e a qualidade da fibra (FAROOQ et al., 2017; LI et al., 2020).

A seca, ao reduzir a disponibilidade de água no solo, compromete diretamente a absorção hídrica pelas raízes, levando à queda no potencial hídrico foliar, fechamento estomático e consequente redução da taxa fotossintética. Esses efeitos refletem-se em menor acúmulo de biomassa, atraso no crescimento e redução no rendimento de capulhos, prejudicando a produtividade final do algodoeiro (ASHRAF et al., 2018). Além disso, o déficit hídrico promove a geração de espécies reativas de oxigênio (ERO), como o peróxido de hidrogênio e o ânion superóxido, que causam danos oxidativos às membranas celulares, proteínas e ácidos nucleicos, afetando a integridade estrutural e funcional dos tecidos vegetais (SINGH et al., 2021).

Em resposta ao déficit hídrico, o algodão ativa mecanismos de defesa fisiológicos e bioquímicos, como o acúmulo de osmólitos compatíveis, como a prolina,

que auxilia na manutenção do equilíbrio osmótico e na proteção das estruturas celulares. A intensidade e a eficiência dessas respostas variam entre cultivares, sendo um critério importante na seleção de genótipos mais tolerantes à seca (MAHMOOD et al., 2020).

Nos últimos anos, os reguladores de crescimento vegetal, como o ácido jasmônico e seu derivado metil jasmonato (MeJA), têm sido amplamente estudados por seu potencial em modular respostas de estresse em diversas culturas, incluindo o algodão (GARCÍA-PASTOR et al., 2026). O ácido jasmônico atua em vias de sinalização envolvidas no fechamento estomático, regulação do equilíbrio hídrico, indução de genes relacionados à proteção celular e manutenção da homeostase fisiológica (KAZAN et al., 2015). Aplicações exógenas desses compostos sob condições de déficit hídrico têm demonstrado efeitos positivos, como maior acúmulo de solutos osmoticamente ativos, preservação da integridade das membranas celulares e melhora na recuperação do crescimento após o estresse (YOSEFI et al., 2018).

Esses achados indicam que o metil jasmonato pode atuar como uma ferramenta promissora no manejo do estresse hídrico na cotonicultura, promovendo maior resiliência das plantas em ambientes com limitação hídrica. Diante do exposto, a compreensão dos mecanismos de tolerância ao déficit hídrico e a busca por estratégias que aumentem a resiliência do algodoeiro tornam-se fundamentais para a sustentabilidade da cotonicultura frente às mudanças climáticas (AHMAD et al., 2016). A hipótese do presente estudo é que a aplicação exógena de MeJA em plantas de algodão submetidas ao déficit hídrico severo atenua os efeitos negativos do estresse, promovendo maior tolerância por meio de mecanismos fisiológicos e bioquímicos.

2. OBJETIVOS

Avaliar o potencial do metil jasmonato (MeJA) como atenuador dos efeitos do estresse hídrico sobre parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.)..

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O papel histórico e socioeconômico do algodão

Pertencente à família Malvaceae, o algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma planta cujo cultivo acompanha a trajetória da civilização humana (WENDEL et al., 2026). Trata-se de uma fibra natural de origem vegetal com enorme peso na economia contemporânea. Enquanto a pluma se consagra como matéria-prima essencial para a indústria de tecidos, as sementes são aproveitadas tanto na extração de óleos vegetais quanto na composição de alimentos destinados à pecuária (NINKUU et al., 2024). Além disso, a cultura do algodão movimenta desde pequenos produtores rurais até grandes conglomerados empresariais, gerando ocupação e renda. Dados recentes indicam que aproximadamente 2,5% de toda a superfície agricultável do planeta é destinada a essa espécie (ABRAPA, 2025).

Do ponto de vista histórico, há registros de que populações nativas da América já manipulavam o algodão em escala reduzida para a produção de panos ainda no Brasil colonial (BARICHELLO et al., 2024). Historicamente, China, Estados Unidos e Índia lideraram a produção mundial por décadas. O Brasil, por sua vez, ocupa a terceira posição no ranking mundial de produção de algodão, com participação de aproximadamente 15% da safra global, além de se consolidar como o maior exportador da fibra, respondendo por 31% do comércio mundial (CONAB, 2025; ABRAPA, 2025). A cotonicultura praticada em território brasileiro tem vivenciado notáveis avanços tecnológicos e produtivos, rumo a um modelo mais sustentável e eficiente (NASCIMENTO & OLIVEIRA et al, 2020). O cenário atual da produção agrícola é preocupante, visto que as transformações climáticas vêm agravando o aquecimento global e tornando as secas mais recorrentes, o que afeta diretamente a oferta de água doce e reduz a produtividade das lavouras de algodão (JANS et al., 2021). Grande parte do plantio dessa espécie concentra-se em zonas semiáridas e subtropicais, naturalmente vulneráveis ao déficit hídrico severo. Diante desse quadro, estima-se que 70% de todo o algodão produzido no mundo esteja exposto a algum nível de risco (ULLAH et al., 2017).

3.2. Estresses que afetam o estabelecimento e desenvolvimento do algodoeiro

O estabelecimento e o desenvolvimento do algodoeiro são influenciados por diversos fatores ambientais, fisiológicos e agronômicos que podem comprometer o crescimento da cultura e reduzir significativamente sua produtividade (ULLAH et al., 2017). Entre os principais fatores limitantes destacam-se o estresse hídrico, as temperaturas extremas, a salinidade do solo, a deficiência nutricional e a ocorrência de pragas e doenças. Esses fatores afetam diretamente processos essenciais como germinação, emergência, crescimento vegetativo, fotossíntese, florescimento e formação das fibras (ULLAH et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

O estresse hídrico é considerado um dos principais estresses abióticos que limitam a produção do algodoeiro em regiões semiáridas e subtropicais. A baixa disponibilidade de água reduz o potencial hídrico das plantas, promove fechamento estomático, diminui a assimilação de carbono e compromete o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura (KHAN et al., 2018). Além disso, períodos prolongados de seca podem causar abortamento floral, redução no número de capulhos e queda na qualidade das fibras, impactando diretamente a produtividade final (JANS et al., 2021).

As temperaturas elevadas também representam importante fator limitante ao desenvolvimento do algodoeiro (SALEEM et al., 2021). O aumento excessivo da temperatura do ar e do solo pode afetar a germinação das sementes, acelerar o metabolismo vegetal e intensificar a produção de ERO, causando danos celulares e desequilíbrio fisiológico (TAIZ et al., 2017).

Outro fator relevante é a salinidade do solo, especialmente em áreas irrigadas e regiões áridas. O excesso de sais reduz a absorção de água pelas raízes e provoca toxicidade iônica, interferindo negativamente no crescimento e na produtividade das plantas (MARYUM et al., 2022). Associado a isso, a deficiência de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, compromete o metabolismo vegetal, reduzindo a eficiência fotossintética e o acúmulo de biomassa (TAIZ et al., 2017).

Além dos fatores abióticos, o algodoeiro também é suscetível à ação de pragas e doenças que podem limitar o estabelecimento da cultura desde os estágios iniciais de desenvolvimento. Insetos-praga, fungos e bactérias afetam estruturas vegetativas

e reprodutivas, reduzindo o vigor das plantas e ocasionando perdas econômicas significativas (FREIRE, 2015).

3.3. Estresse oxidativo e espécie reativas de oxigênio (ERO) em plantas

Fatores ambientais desfavoráveis, denominados estresses abióticos, representam uma das principais causas de perda de produtividade em espécies cultivadas (ABED et al., 2025). Esses agentes estressores afetam múltiplos níveis da organização vegetal, desde alterações morfológicas e anatônicas até mudanças em processos fisiológicos e rotas bioquímicas. Em situações de estresse prolongado, esses efeitos podem evoluir para a morte celular programada ou para danos irreversíveis aos tecidos (SHARMA et al., 2019). Entre as respostas celulares mais comuns induzidas por condições adversas está a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ERO), incluindo o radical superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o radical hidroxila (•OH) e o oxigênio singleto ($^1O_2$) (SOARES et al., 2020). Essas moléculas, caracterizadas por sua alta reatividade, promovem danos celulares em cascata, afetando principalmente lipídios de membrana, proteínas e ácidos nucleicos, além de comprometerem a integridade e a funcionalidade das membranas celulares (SILVA; OLIVEIRA; LIMA, 2022).

Embora o oxigênio molecular seja essencial para a respiração e outros processos metabólicos, ele também é precursor direto das ERO, cuja geração ocorre prioritariamente em organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (BREEZE et al., 2022). Sob estresse, o acúmulo dessas moléculas desencadeia reações oxidativas que danificam lipídios e proteínas, podendo levar a danos celulares irreversíveis (SHARMA et al., 2019). Os danos oxidativos resultantes afetam processos-chave como a fotossíntese, a respiração e a absorção de água e nutrientes, comprometendo diretamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal (SHARMA et al., 2012).

No algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), o déficit hídrico é um dos principais indutores do estresse oxidativo. Estudos demonstram que a limitação hídrica promove o acúmulo de H_2O_2 e MDA em tecidos foliares, indicando peroxidação lipídica e danos às membranas celulares (QAMER et al., 2021; GOMES et al., 2022). Além disso, a seca reduz a eficiência fotoquímica do fotossistema II e acelera a degradação de pigmentos fotossintéticos, intensificando a geração de ERO nos cloroplastos (KHAN

et al., 2018). Em resposta a esse desequilíbrio, o algodoeiro ativa mecanismos de defesa antioxidante, com destaque para o aumento da atividade de enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidases (POD), além do acúmulo de compostos não enzimáticos, como carotenoides e prolina (MAHMOOD et al., 2020; QAMER et al., 2021).

A intensidade da resposta antioxidante varia entre cultivares, sendo um critério importante na seleção de genótipos mais tolerantes à seca (GOMES et al., 2022). A regulação desses sistemas envolve a ativação de vias genéticas específicas, que aumentam a tolerância e a resistência das plantas a diferentes estresses ambientais (SOARES et al., 2020). Dessa forma, os mecanismos antioxidantes desempenham papel essencial na proteção do algodoeiro, atuando como sequestradores de moléculas reativas e garantindo a manutenção da integridade celular frente a condições adversas (GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2021).

3.4 O metil jasmonato nos sistemas de produção vegetal

Os hormônios vegetais desempenham funções essenciais na regulação do crescimento, desenvolvimento e respostas a estresses nas plantas. Dentre esses reguladores, o grupo dos jasmonatos tem recebido crescente atenção na pesquisa, especialmente o metil jasmonato (MeJA), devido ao seu papel na indução de defesa contra estresses bióticos e abióticos (TAIZ; ZEIGER, 2017). Os jasmonatos (JAs) são derivados de ácidos graxos, incluindo compostos importantes como o ácido jasmônico (JA), o metil jasmonato (MeJA) e o conjugado de isoleucina do jasmonato (JA-Ile) (WANG et al., 2020).

O ácido jasmônico e os demais jasmonatos atuam como sinalizadores endógenos que desencadeiam respostas de defesa em vegetais. Entre as principais alterações moleculares induzidas por esses hormônios estão a ativação transcricional de genes que codificam inibidores de proteases, enzimas da rota dos flavonoides e diversas proteínas relacionadas à resistência a doenças (WANG et al., 2020). Quando as plantas são submetidas a danos mecânicos ou ao ataque de insetos e patógenos, ocorre aumento nos níveis endógenos de jasmonatos, ativando rotas metabólicas que culminam na síntese de compostos de defesa, como inibidores de proteinases e metabólitos secundários (ZHANG et al., 2015).

Na agricultura, a aplicação exógena de metil jasmonato tem sido investigada como uma estratégia para aumentar a resistência de plantas a estresses sem a necessidade de melhoramento genético ou uso intensivo de agroquímicos. Estudos demonstram que o MeJA pode ser utilizado tanto em pré-colheita quanto em pós-colheita, promovendo aumento da firmeza de frutos, maior atividade antioxidante e prolongamento da vida útil de produtos hortícolas (YOSEFI et al., 2018).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Material vegetal e condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Departamento de Biologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista, no município de Jaboticabal, situado nas coordenadas 21°14’46” de latitude Sul e 48°18’39” de longitude Oeste, a aproximadamente 600 metros de altitude com duração de 70 dias.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 × 2, com seis repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos resultaram da combinação entre aplicação de metil jasmonato (MeJA) e condições hídricas. O primeiro fator correspondeu à ausência e presença da aplicação de MeJA, enquanto o segundo fator constituiu a suficiência hídrica (controle) e déficit hídrico (DH). A concentração de MeJA utilizada foi de (1 mmol L^{-1}, estabelecida em estudo anterior (das Mercês et al., 2025).

As sementes de algodão foram adquiridas comercialmente e inicialmente germinadas em vermiculita. Após a emergência, as plântulas foram transplantadas para vasos com volume de 1 L contendo Latossolo Vermelho. Amostras do solo foram coletadas e submetidas à análise química para avaliação da fertilidade. As correções de pH e a adubação foram realizadas de acordo com as necessidades nutricionais da cultura, seguindo as recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (QUAGGIO et al., 2022).

A adubação de base foi aplicada no dia 06/03/2026, por meio de solução nutritiva, nas seguintes doses por vaso: 50 mg de nitrogênio (N), 75 mg de fósforo (P), 50 mg de potássio (K), 10 mg de enxofre (S) e 0,5 mg de boro (B). A adubação

nitrogenada de cobertura foi realizada no dia 21/03/2026, com a aplicação de 50 mg de N por vaso, na forma de ureia. Todas as adubações foram realizadas via solução aquosa, aplicadas diretamente no solo dos vasos.

No período pré-aplicação de MeJA, o nível de água foi mantido em 80% da capacidade de campo (CC), correspondente à água retida no substrato após drenagem completa. Para isso, adotou-se o método gravimétrico: os vasos foram pesados diariamente e irrigados até atingir a massa alvo equivalente a 80% da CC. A CC foi determinada previamente pela saturação dos vasos, seguida da drenagem lenta durante a noite e registro da massa final; a CC calculada de 80% foi estimada a partir da CC.

No estágio fenológico V5 das plantas, foram iniciados os tratamentos com MeJA. Realizaram-se três aplicações consecutivas, em intervalos de três dias. A solução de MeJA foi preparada utilizando etanol a 1% como diluente. A solução estoque de MeJA foi ajustada para 1 mmol L^{-1}, e essa dose total foi fracionada em três aplicações sucessivas, de modo que a dose acumulada recebida pela planta equivalesse a 1 mmol L^{-1}. O tratamento controle (0,00 mmol L^{-1}) recebeu apenas o diluente (etanol a 1%). As soluções foram aplicadas imediatamente após o preparo, utilizando um pulverizador manual, assegurando cobertura completa da parte aérea até o ponto de escorrimento. Cada vaso recebeu 5 mL da solução em cada aplicação. As pulverizações foram realizadas pela tarde, entre 17h e 18h. Durante as aplicações, as condições ambientais foram monitoradas e condições consideradas adequadas para máxima absorção foliar.

No dia seguinte à terceira aplicação de MeJA nos tratamentos correspondentes, irrigação foi reduzida para atingir 40% da capacidade de campo (CC) nos tratamentos pré-estabelecido, caracterizando o déficit hídrico. Foram realizadas avaliações fisiológicas, bioquímicas e biométricas nas plantas após 10 dias do início do déficit hídrico. Esse período foi definido a partir da observação, sobretudo, do murchamento das plantas. A partir desse marco fisiológico, iniciaram-se as coletas foliares para as análises.

Foram realizadas coletas da parte aérea das plantas para as devidas análises. Para as análises bioquímicas, as folhas foram depositadas em tubos falcon e colocadas em nitrogênio líquido imediatamente, e, depois armazenadas em freezer -80ºC, para posterior análises. Em relação a massa seca da parte aérea, as plantas foram seccionadas na região de transição da raiz-parte aérea e foram submetidas à

secagem em estufa de circulação forçada de ar, temperatura ± 65ºC, até atingirem peso constante e após pesadas em balança analítica de precisão (0,001g).

4.2 Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos avaliados

4.2.1 Análises de crescimento

As avaliações de crescimento das plantas foram realizadas por meio da mensuração do comprimento da parte aérea e da área foliar. A altura da parte aérea foi determinada utilizando régua graduada em centímetros, enquanto a área foliar foi obtida com auxílio do medidor de área foliar LI-COR® LI-3100C. Além disso, foi determinada a massa seca das plantas após a secagem dos tecidos vegetais em estufa de circulação forçada de ar a ± 65 ºC por 72 horas

2.4.2 Conteúdo relativo de água

Foram coletados dez discos (26,4 mm^2/disco) da primeira folha completamente desenvolvida, sendo imediatamente pesados para obter a massa fresca (Mf). Posteriormente, as amostras foram reidratadas em água deionizada por 6 horas para obter a massa túrgida (Mt) e secas em estufa de circulação forçada de ar a 80°C por 24 horas, para obter a massa seca (Ms). Os valores foram determinados pela equação proposta por Barrs e Weatherley (1962): [(Mf-Ms)/(Mt-Ms)] × 100.

4.2.3 Análise dos Pigmentos Vegetais

Discos das folhas de 26.4 mm^2 foram retirados e mensurados sob condição de penumbra. Os discos foram colocados em acetona 80% e o extrato foi transferido para tubos envoltos em papel alumínio e guardados em refrigeração por 2 dias. A leitura da solução contendo os pigmentos foi realizada em espectrofotômetro de mesa utilizando os comprimentos de onda: Clorofila α em 663 nm; Clorofila β em 647 nm; Carotenoides em 470 nm; Feofitina a em 665 nm; Feofitina b em 663 nm

(Lichtenthaler, 1987). Para calcular a clorofila total foi feito a soma da clorofila α e clorofila β. Para calcular a feofitina total foi feito a soma da feotina a e a feotitina b.

4.2.4 Análise de estresse oxidativo

O tecido foliar fresco foi macerado com 20% (p/v) de polivinilpirrolidona (PVPP) e 0,1% de ácido tricloroacético (TCA). Após o material ser centrifugado a 10.000 rpm por 15 min, o sobrenadante foi adicionado a uma solução de 20% de TCA e 5% de ácido tiobarbitúrico (TBA) e incubado em banho-maria a 95 °C por 30 min. A reação foi interrompida por resfriamento em banho de gelo por 10 min e, em seguida, centrifugada a 4 °C (10.000×g) por 15 min (Gratão et al., 2012). O conteúdo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi usado para estimar a peroxidação lipídica. A concentração equivalente de malondialdeído (MDA) foi calculada usando um coeficiente de extinção de 1,55 x 10^5 mol^{-1} cm^{-1}, com leituras entre 535 e 600 nm (Gratão et al., 2012). Os resultados foram expressos em µmol/mg de tecido fresco.

O teor de H_2O_2 foi determinado homogeneizando os tecidos congelados e moídos das pétalas e anteras com 0,1% de TBA, seguido de centrifugação a 11.000 rotações por minuto a 4 °C durante 10 min. O sobrenadante foi transferido para tubos Eppendorf de 2 mL contendo uma solução tampão (pH 7,5) e iodeto de potássio, sendo então incubado durante 1 h em um recipiente com gelo. Em seguida, foram realizadas leituras espectrofotométricas em um comprimento de onda de 390 nm, de acordo com a metodologia descrita por Alexieva et al., (2001).

O teor de prolina foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Bates et al. (1973). Para a extração, 0,5 g de massa seca das folhas foram maceradas em 10 mL de ácido sulfosalicílico (sendo 2 mL adicionados inicialmente, seguidos por mais 8 mL). Após a filtração do material, 1 mL do filtrado foi transferido para um tubo de ensaio e misturado com 1 mL de ácido acético e 1 mL de reagente de ninhidrina. Os tubos foram agitados e incubados em banho-maria a 100 °C por 60 minutos. Em seguida, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e 2 mL de tolueno foram adicionados, com agitação por 4 segundos para promover a separação das fases. A absorbância da fase orgânica foi mensurada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 520 nm.

4.3. Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi realizada pelo software estatístico Agrostat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2011). Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e ao teste de Levene para avaliar a normalidade da distribuição e homogeneidade de variâncias para garantir a uniformidade da variância entre os grupos, respectivamente. Subsequentemente a esses testes, análise de variância (ANOVA) foi conduzida para detectar diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, com um critério de $p < 0,05$ para significância. Quando os resultados da ANOVA indicaram diferenças significativas, o teste de Tukey foi empregado para identificar diferenças específicas do grupo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises de crescimento e conteúdo relativo de água

As variáveis de crescimento avaliadas, incluindo altura, área foliar, massa seca e conteúdo relativo de água, apresentaram respostas distintas à aplicação exógena de MeJA e à condição de déficit hídrico em plantas de algodão. Para a altura das plantas, não foram observados efeitos significativos do déficit hídrico, do MeJA ou da interação entre esses fatores (Fig. 1a). Os valores permaneceram próximos entre os tratamentos, variando de aproximadamente 35 a 37 cm, indicando que, nas condições avaliadas, a restrição hídrica e a aplicação do regulador vegetal não promoveram alterações expressivas no crescimento em altura das plantas.

Comportamento semelhante foi observado para a área foliar (Fig. 1b). Embora o maior valor médio tenha sido verificado nas plantas mantidas sob condição controle e tratadas com MeJA, atingindo aproximadamente 320 cm², essa diferença não foi estatisticamente significativa. Sob déficit hídrico, os valores de área foliar foram numericamente menores, tanto na ausência quanto na presença de MeJA, porém sem diferença significativa entre os tratamentos. Esses resultados indicam que a área foliar não foi significativamente afetada pelo déficit hídrico severo nem pela aplicação de MeJA.

A massa seca foi a única variável de crescimento que apresentou resposta significativa à aplicação de MeJA (Fig. 1c). O fator MeJA foi significativo, enquanto o

déficit hídrico e a interação entre déficit hídrico e MeJA não apresentaram efeito significativo. As plantas tratadas com MeJA apresentaram maiores valores médios de massa seca em comparação às plantas não tratadas, especialmente sob condição de suficiência hídrica. No tratamento controle, a presença de MeJA promoveu aumento significativo da massa seca em relação à ausência do regulador vegetal. Sob déficit hídrico, embora a massa seca também tenha sido numericamente maior nas plantas tratadas com MeJA, essa diferença não foi estatisticamente significativa.

Em relação ao conteúdo relativo de água, não foram observados efeitos significativos do déficit hídrico, do MeJA ou da interação entre esses fatores (Fig. 1d). Os valores permaneceram relativamente próximos entre os tratamentos, situando-se entre aproximadamente 70% e 80%. Apesar de as plantas tratadas com MeJA apresentarem tendência numérica de maior conteúdo relativo de água, tanto sob condição controle quanto sob déficit hídrico, essa resposta não foi confirmada estatisticamente. Assim, os resultados sugerem que o status hídrico foliar das plantas foi mantido de forma semelhante entre os tratamentos no momento da avaliação.

De modo geral, os resultados indicam que o déficit hídrico severo não promoveu reduções significativas nos parâmetros morfológicos avaliados. A aplicação de MeJA, por sua vez, influenciou significativamente apenas o acúmulo de massa seca, sugerindo um possível efeito positivo desse regulador vegetal sobre a produção de biomassa. No entanto, como não houve interação significativa entre MeJA e déficit hídrico, não é possível afirmar que o MeJA tenha atenuado diretamente os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas de algodão. Portanto, sua atuação parece ter ocorrido de forma independente da condição hídrica, com maior evidência no incremento da massa seca.

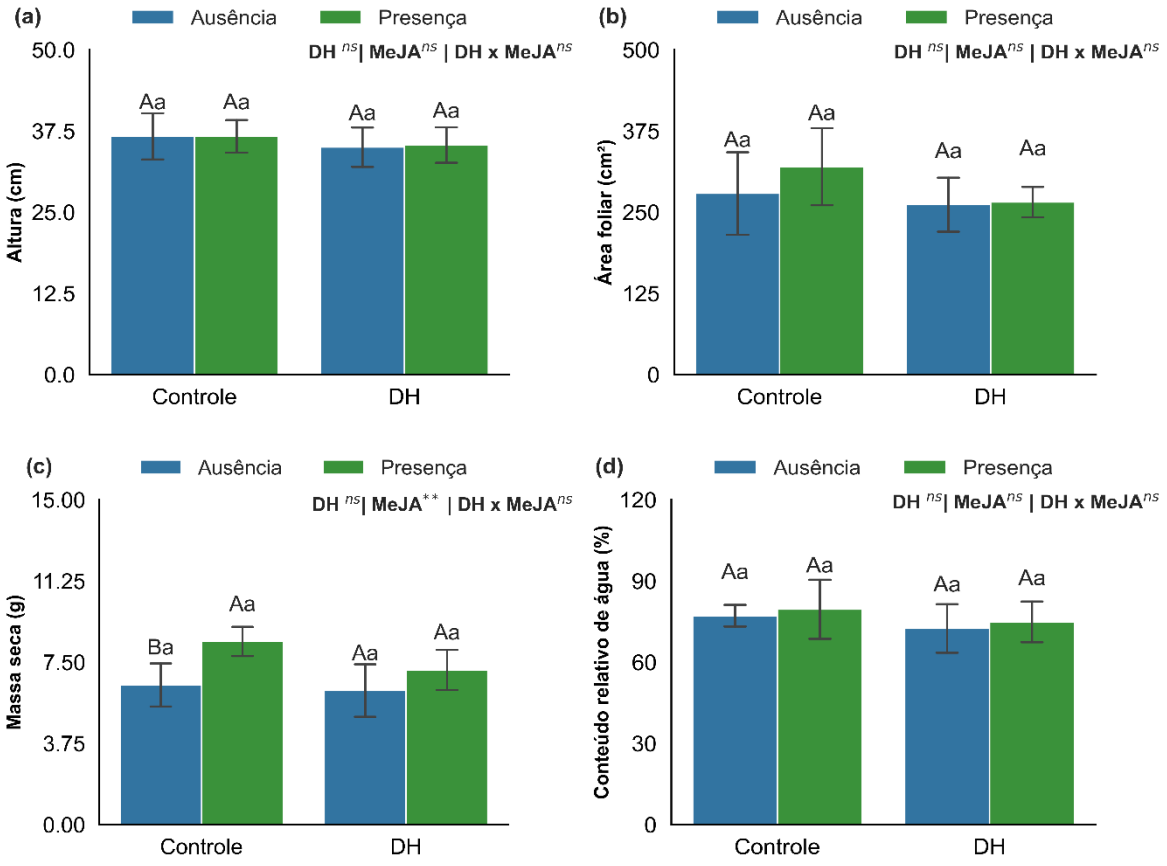


Fig. 1. Altura (a), Área foliar (b) e Massa seca (c) em plantas de algodão cultivadas na ausência e presença de metil jasmonato (MeJA) sob condições de ausência de estresse (controle) e déficit hídrico (DH). Os valores representam as médias ± EPM. Os dados foram analisados por ANOVA seguidos pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre ausência e presença de MeJA dentro de cada condição hídrica; letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre controle e déficit hídrico dentro de cada nível de MeJA. ns: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade.

A ausência de efeito significativo do déficit hídrico sobre a altura, área foliar e conteúdo relativo de água pode indicar que, no período de avaliação, as plantas de algodão conseguiram manter parcialmente o crescimento vegetativo e o equilíbrio hídrico foliar mesmo sob condição de restrição hídrica. Essa resposta pode estar associada à capacidade do algodoeiro de ajustar seu metabolismo e manter a turgescência celular em situações de limitação de água, especialmente quando o estresse é imposto por um período relativamente curto ou quando as plantas ainda apresentam mecanismos eficientes de adaptação.

Embora a área foliar tenha apresentado redução numérica sob déficit hídrico, essa diferença não foi significativa. Isso sugere que o estresse hídrico aplicado não foi suficiente para provocar redução estatisticamente detectável na expansão foliar. Em condições de déficit hídrico, a redução da área foliar é uma resposta comum das

plantas, pois contribui para diminuir a superfície transpiratória e reduzir a perda de água. No entanto, neste estudo, essa resposta ocorreu apenas como tendência, sem confirmação estatística.

O efeito significativo do MeJA sobre a massa seca sugere que a aplicação exógena desse regulador vegetal favoreceu o acúmulo de biomassa nas plantas de algodão. Esse resultado pode estar relacionado à atuação do MeJA na modulação de processos fisiológicos e metabólicos associados à proteção celular, eficiência no uso da água e manutenção da atividade fotossintética. Mesmo que o MeJA seja frequentemente associado à ativação de respostas de defesa, seus efeitos também podem refletir em maior acúmulo de matéria seca, dependendo da concentração utilizada, da espécie vegetal e da condição ambiental. Estudos como o de Ahmad et al. (2016) destacam que os efeitos benéficos do MeJA são frequentemente mais evidentes em aspectos bioquímicos e fisiológicos, como a redução do estresse oxidativo e o aumento da atividade antioxidante, do que propriamente no crescimento vegetativo.

No entanto, é importante destacar que a interação entre déficit hídrico e MeJA não foi significativa para nenhuma das variáveis avaliadas (Fig. 1a–d). Isso significa que o efeito do MeJA não dependeu da condição hídrica e, portanto, não se pode afirmar, com base apenas nesses dados de crescimento, que o regulador tenha mitigado diretamente os efeitos do déficit hídrico. A interpretação mais adequada é que o MeJA promoveu incremento na massa seca de forma geral, mas não alterou significativamente a resposta das plantas ao déficit hídrico.

Dessa forma, os resultados de crescimento indicam que as plantas de algodão apresentaram relativa estabilidade morfológica frente ao déficit hídrico imposto, enquanto o MeJA contribuiu principalmente para o maior acúmulo de biomassa (Fig. 1c).

5.2. Análise dos Pigmentos Vegetais

Os pigmentos fotossintéticos, como clorofila a, clorofila b e carotenoides, são componentes essenciais para a captura, transferência e dissipação da energia luminosa durante a fotossíntese, sendo altamente sensíveis a condições ambientais adversas, como o déficit hídrico (RAITER et al., 2023). Além disso, alterações nos teores de feofitinas podem indicar mudanças no metabolismo das clorofilas, uma vez

que esses compostos estão associados à remoção do íon magnésio da molécula de clorofila, podendo refletir alterações no aparato fotossintético sob condições de estresse (SANTOS et al., 2020). Neste estudo, os teores de clorofila a, clorofila b, carotenoides, feofitina a e feofitina b foram influenciados de maneira distinta pelo déficit hídrico, pela aplicação exógena de MeJA e pela interação entre esses fatores.

Para a clorofila a (Fig. 2a), foram observados efeitos significativos do déficit hídrico, do MeJA e da interação DF × MeJA. O maior teor foi registrado nas plantas mantidas sob suficiência hídrica e tratadas com MeJA, indicando que a aplicação do regulador vegetal favoreceu o acúmulo desse pigmento em condição controle. Na ausência de MeJA, os teores de clorofila a foram menores, enquanto sob déficit hídrico os valores permaneceram reduzidos e semelhantes entre plantas tratadas e não tratadas com MeJA. Esse resultado indica que o efeito positivo do MeJA sobre a clorofila a foi mais evidente em plantas sem limitação hídrica, não sendo suficiente para promover aumento significativo desse pigmento sob déficit hídrico.

Comportamento semelhante foi observado para a clorofila b (Fig. 2b), que também apresentou efeito significativo do déficit hídrico, do MeJA e da interação entre os fatores. As plantas controle tratadas com MeJA apresentaram os maiores teores de clorofila b, diferindo das plantas sem aplicação do regulador vegetal. Sob déficit hídrico, houve redução nos teores desse pigmento, e a presença de MeJA não promoveu incremento expressivo. Assim, os resultados sugerem que o déficit hídrico comprometeu o acúmulo de clorofilas, principalmente quando comparado às plantas controle tratadas com MeJA.

Os carotenoides (Fig. 2c) foram influenciados significativamente pelo déficit hídrico e pelo MeJA, porém a interação DF × MeJA não foi significativa. Esse resultado indica que os fatores atuaram de forma independente sobre esse pigmento. De modo geral, o déficit hídrico reduziu os teores de carotenoides, enquanto a aplicação de MeJA promoveu incremento nos valores médios, especialmente sob condição de suficiência hídrica. Considerando que os carotenoides atuam na proteção do aparato fotossintético, participando da dissipação do excesso de energia luminosa e da neutralização de espécies reativas de oxigênio, o aumento observado nas plantas tratadas com MeJA pode estar relacionado à ativação de mecanismos de proteção antioxidante (QAMER et al., 2021; LIU et al., 2022).

Para a feofitina a (Fig. 2d), foram observados efeitos significativos do déficit hídrico, do MeJA e da interação DF × MeJA. O maior valor foi registrado nas plantas

controle tratadas com MeJA, enquanto sob déficit hídrico houve redução nos teores desse pigmento, principalmente quando comparado ao tratamento controle com MeJA. Esse comportamento indica que a resposta da feofitina a foi dependente da combinação entre disponibilidade hídrica e aplicação do regulador vegetal. Diferentemente do que poderia ser esperado em uma resposta clássica de degradação de clorofilas sob estresse, o déficit hídrico não promoveu aumento de feofitina a neste estudo.

A feofitina b (Fig. 2e) também apresentou efeitos significativos do déficit hídrico, do MeJA e da interação DF × MeJA. Os maiores valores foram observados nas plantas sob condição controle, enquanto o déficit hídrico reduziu os teores desse pigmento. A aplicação de MeJA resultou em pequenas alterações nos valores médios de feofitina b, porém a análise estatística indicou que sua resposta foi influenciada pela interação entre os fatores. Assim, os resultados sugerem que a feofitina b respondeu de forma sensível às alterações impostas pela disponibilidade hídrica e pela aplicação do MeJA, embora com menor amplitude em comparação aos demais pigmentos.

De modo geral, os resultados demonstram que o déficit hídrico reduziu os teores de clorofila a, clorofila b e carotenoides, indicando prejuízo ao metabolismo fotossintético das plantas de algodão. A aplicação de MeJA favoreceu o acúmulo desses pigmentos, principalmente sob condição de suficiência hídrica, sugerindo efeito positivo sobre a manutenção dos componentes fotossintéticos. No entanto, sob déficit hídrico, esse efeito foi menos evidente, indicando que o MeJA não foi suficiente para reverter completamente os efeitos negativos da restrição hídrica sobre os pigmentos fotossintéticos.

A redução dos pigmentos sob déficit hídrico pode estar relacionada à menor síntese de clorofilas, à instabilidade das membranas dos cloroplastos e à intensificação do estresse oxidativo, processos frequentemente associados ao comprometimento da atividade fotossintética em plantas submetidas à limitação hídrica (RAITER et al., 2023). Por outro lado, o aumento dos carotenoides nas plantas tratadas com MeJA reforça a possibilidade de ativação de mecanismos fotoprotetores, uma vez que esses pigmentos atuam na dissipação do excesso de energia e na proteção contra danos oxidativos (QAMER et al., 2021; LIU et al., 2022).

Portanto, a análise conjunta dos pigmentos indica que o déficit hídrico afetou negativamente o aparato fotossintético do algodoeiro, reduzindo principalmente os teores de clorofilas e carotenoides. A aplicação de MeJA apresentou efeito positivo

sobre o acúmulo de pigmentos em plantas sob suficiência hídrica, mas seu efeito sob déficit hídrico foi parcial. Assim, os resultados sugerem que o MeJA pode contribuir para a regulação do metabolismo fotossintético, embora sua eficiência dependa da condição hídrica e do pigmento avaliado.

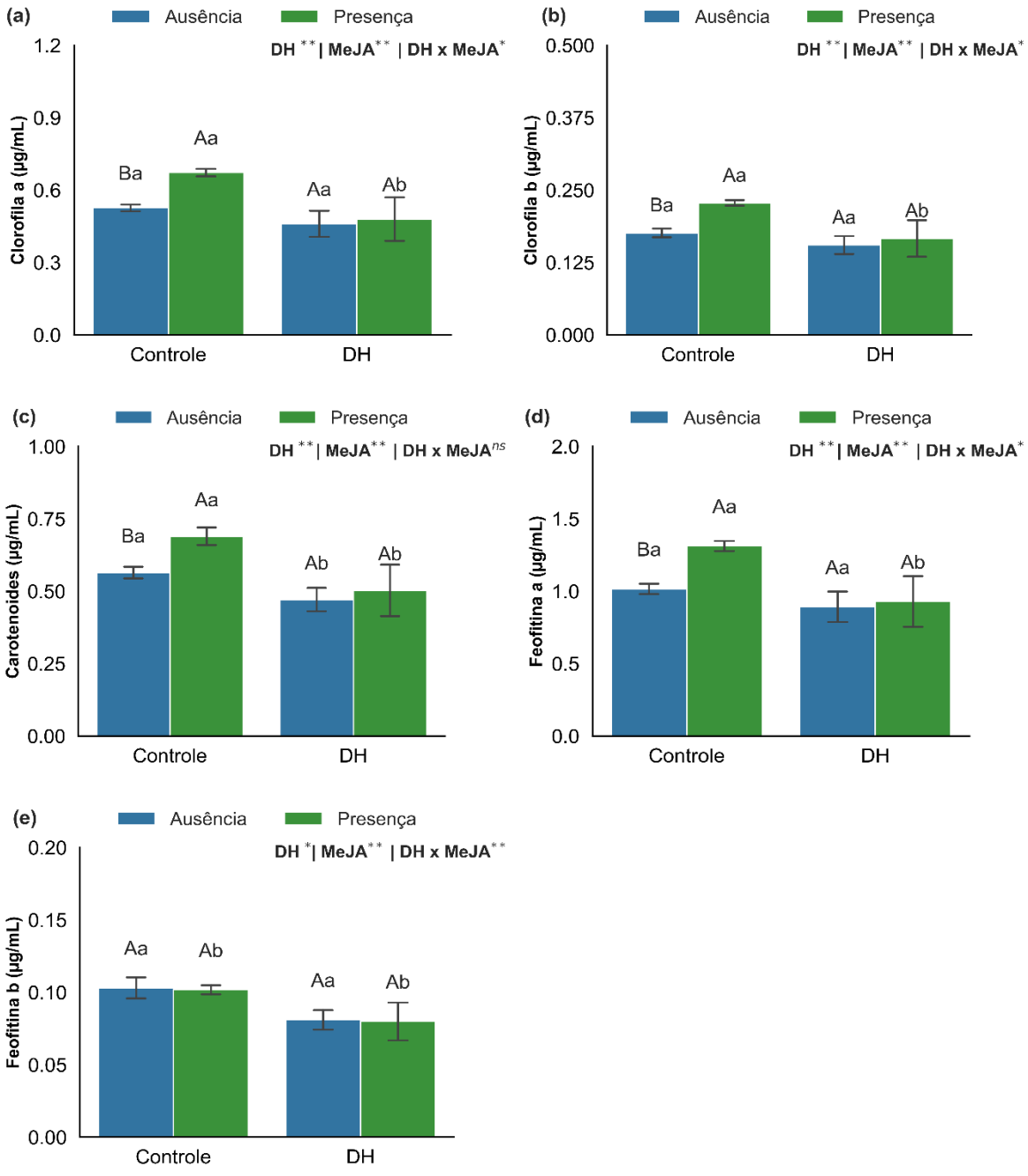


Fig. 2. Clorofila a (a), Clorofila b (b), Carotenoides (c), Feofitina a (d) e Feofitina b (e) em plantas de algodão cultivadas na ausência e presença de metil jasmonato (MeJA) sob condições de ausência de estresse (controle) e déficit hídrico (DH). Os valores representam as médias ± EPM. Os dados foram analisados por ANOVA seguidos pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre ausência e presença de MeJA dentro de cada condição hídrica; letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre

controle e déficit hídrico dentro de cada nível de MeJA. ns: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade.

5.3. Análise de estresse oxidativo.

Para a análise de estresse oxidativo e ajuste osmótico, foram avaliadas as concentrações de malondialdeído (MDA), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e prolina nas folhas de plantas de algodão submetidas à suficiência hídrica e ao déficit hídrico, na ausência e presença de metil jasmonato (MeJA). Essas variáveis são importantes indicadoras do estado fisiológico das plantas, uma vez que o MDA está associado à peroxidação lipídica, o H_2O_2 atua tanto como espécie reativa de oxigênio quanto como molécula sinalizadora, e a prolina está relacionada ao ajustamento osmótico e à proteção celular sob condições de estresse.

As concentrações de MDA (Fig. 3a) não foram influenciadas significativamente pelo déficit hídrico, pela aplicação de MeJA ou pela interação entre esses fatores. Todos os tratamentos apresentaram letras iguais, indicando ausência de diferença estatística entre as médias. Os valores permaneceram próximos entre os tratamentos, variando aproximadamente entre 9 e 11 nmol g^{-1}. Esse resultado sugere que, nas condições avaliadas, o déficit hídrico não foi suficiente para intensificar a peroxidação lipídica nas folhas de algodão. Além disso, a ausência de efeito significativo do MeJA indica que o regulador vegetal não alterou diretamente os níveis de dano às membranas celulares, pelo menos quando avaliado por meio da concentração de MDA.

Para o H_2O_2 (Fig. 3b), a análise estatística indicou efeito significativo apenas do MeJA, enquanto o déficit hídrico e a interação DF × MeJA não foram significativos. De modo geral, as plantas tratadas com MeJA apresentaram menores concentrações de H_2O_2 em comparação às plantas sem aplicação do regulador vegetal, especialmente sob déficit hídrico. Na ausência de MeJA, o déficit hídrico promoveu aumento numérico nos teores de H_2O_2, enquanto a aplicação do regulador reduziu esse acúmulo. Como a interação entre os fatores não foi significativa, o efeito do MeJA

deve ser interpretado como uma resposta geral de redução do H_2O_2, independentemente da condição hídrica.

A redução dos níveis de H_2O_2 nas plantas tratadas com MeJA sugere que esse regulador vegetal pode ter contribuído para a modulação do estado redox das plantas de algodão. O H_2O_2 é uma espécie reativa de oxigênio que, em concentrações moderadas, atua como molécula sinalizadora em respostas de defesa, mas, quando acumulado em excesso, pode causar danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Assim, a menor concentração de H_2O_2 observada na presença de MeJA pode estar associada à ativação de mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, contribuindo para maior controle da homeostase redox. Essa interpretação está de acordo com estudos que relatam que compostos reguladores e bioestimulantes podem auxiliar as plantas na tolerância ao estresse hídrico por meio da melhoria dos mecanismos de defesa antioxidante e da proteção das membranas celulares (HUSSAIN; YASMEEN; AFZAL, 2020).

Em relação à prolina (Fig. 3c), foi observada interação significativa entre déficit hídrico e MeJA, enquanto os fatores isolados não apresentaram efeito significativo. Esse resultado indica que a resposta da prolina dependeu da combinação entre condição hídrica e aplicação do regulador vegetal. O menor valor foi observado nas plantas controle sem aplicação de MeJA, enquanto os demais tratamentos apresentaram maiores concentrações e não diferiram estatisticamente entre si. Na ausência de MeJA, o déficit hídrico aumentou significativamente o acúmulo de prolina em relação ao controle, indicando ativação de uma resposta osmoprotetora frente à restrição hídrica. Por outro lado, nas plantas tratadas com MeJA, os teores de prolina permaneceram elevados tanto na condição controle quanto sob déficit hídrico.

Esse comportamento sugere que o MeJA pode ter elevado os níveis basais de prolina mesmo em plantas sob suficiência hídrica, possivelmente induzindo uma condição de preparo metabólico para enfrentar situações de estresse. Sob déficit hídrico, as plantas sem MeJA aumentaram o acúmulo de prolina como resposta adaptativa, enquanto as plantas tratadas com MeJA já apresentavam níveis semelhantes desse aminoácido, não havendo incremento adicional significativo. A prolina exerce papel importante na manutenção do potencial osmótico, na estabilização de proteínas e membranas e na proteção contra espécies reativas de oxigênio. Dessa forma, o acúmulo desse composto pode representar uma estratégia de tolerância ao déficit hídrico. Essa interpretação é coerente com estudos que

destacam o papel de compostos reguladores na modulação de osmoprotetores e na proteção celular sob condições adversas (QAMER et al., 2021; LIU et al., 2022).

De modo geral, os resultados indicam que o déficit hídrico não promoveu aumento significativo da peroxidação lipídica, conforme observado pelos teores de MDA (Fig. 3a). Entretanto, a aplicação de MeJA reduziu significativamente os níveis de H_2O_2 (Fig. 3b), sugerindo efeito positivo na regulação do estado oxidativo das plantas. Além disso, a interação significativa observada para a prolina (Fig. 3c) indica que esse aminoácido participou de forma importante da resposta das plantas ao déficit hídrico, especialmente na ausência de MeJA. Assim, os dados sugerem que o MeJA pode contribuir para o controle do estresse oxidativo e para o ajuste osmótico em algodoeiro, embora seus efeitos tenham sido mais evidentes sobre H_2O_2 e prolina do que sobre a peroxidação lipídica.

A ausência de diferença significativa para MDA, mesmo com alterações nos níveis de H_2O_2 e prolina, pode indicar que os mecanismos antioxidantes e osmoprotetores foram suficientes para evitar danos mais intensos às membranas celulares no período avaliado. Dessa forma, o H_2O_2 e a prolina parecem ter sido marcadores mais sensíveis às respostas induzidas pelo MeJA e pelo déficit hídrico do que o MDA. Em conjunto, esses resultados indicam que o MeJA atuou principalmente na modulação do equilíbrio redox e no ajuste osmótico, contribuindo para uma resposta fisiológica mais controlada das plantas de algodão sob condições de restrição hídrica.

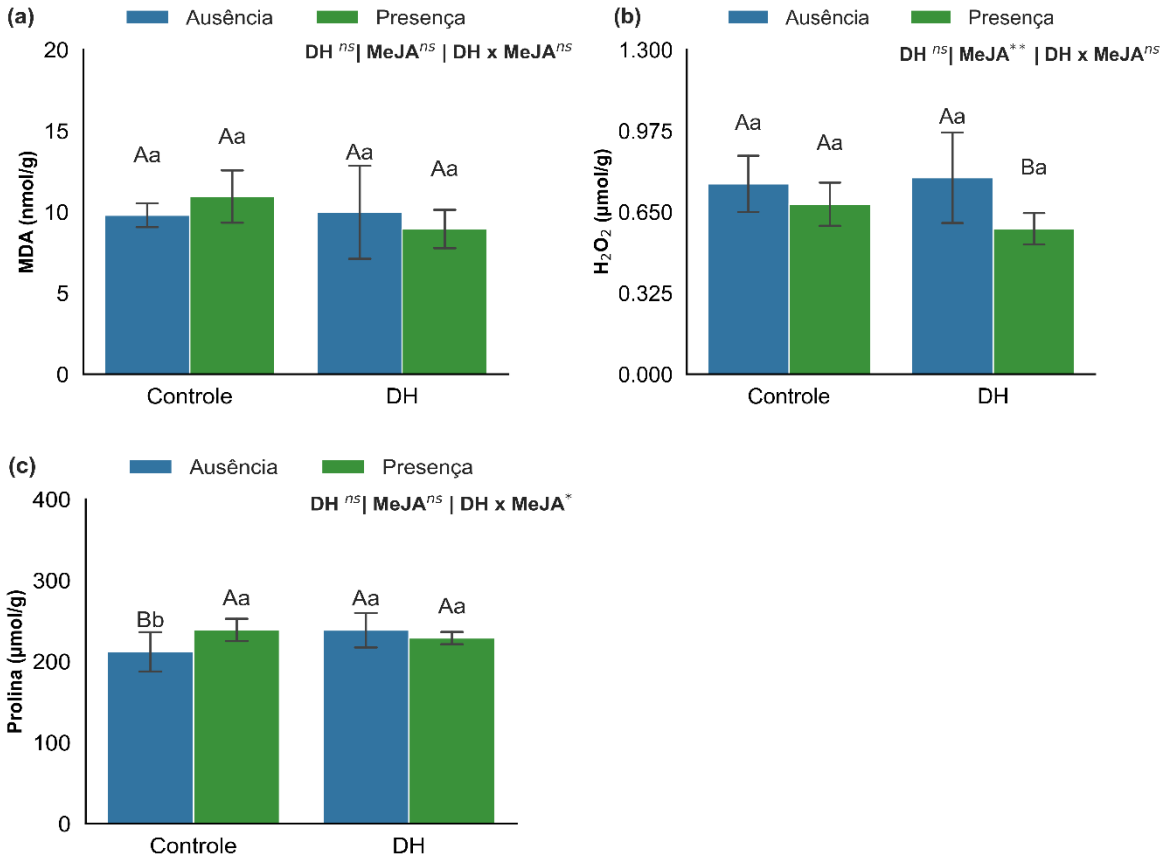


Fig. 3. MDA (a), Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (b) e Prolina (c) em plantas de algodão cultivadas na ausência e presença de metil jasmonato (MeJA) sob condições de ausência de estresse (controle) e déficit hídrico (DH). Os valores representam as médias ± EPM. Os dados foram analisados por ANOVA seguidos pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre ausência e presença de MeJA dentro de cada condição hídrica; letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre controle e déficit hídrico dentro de cada nível de MeJA. ns: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade.

6. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o déficit hídrico não promoveu danos oxidativos expressivos às membranas celulares, uma vez que os teores de MDA não foram alterados significativamente entre os tratamentos. Entretanto, a aplicação de MeJA reduziu as concentrações de H_2O_2, sugerindo sua atuação na modulação do equilíbrio redox das plantas de algodão. Além disso, a resposta da prolina evidenciou a participação desse aminoácido no ajuste osmótico, especialmente sob déficit hídrico na ausência de MeJA, enquanto o regulador vegetal parece ter elevado os níveis basais de prolina mesmo em condição controle. Dessa forma, os dados sugerem que o MeJA contribui principalmente para a regulação do metabolismo oxidativo e osmoprotetor, favorecendo uma resposta fisiológica mais equilibrada das plantas

frente à restrição hídrica, embora sem refletir em alterações significativas na peroxidação lipídica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABED, Mohammed Majid et al. Systematic Literature Review for Mechanisms and Costs of Plant Adaptation to Biotic and Abiotic Stresses. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, v. 94, n. 12, p. 3845-3860, 2025. DOI: 10.32604/phyton.2025.073163.

AHMAD, Parvaiz et al. Jasmonates: Multifunctional Roles in Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 813, 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.00813.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, v. 24, n. 12, p. 1337-1344, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x.

ASHRAF, Muhammad A. et al. Exogenous application of ascorbic acid, glutathione and α-tocopherol alleviates oxidative stress and enhances drought tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *International Journal of Chemical Research*, v. 8, n. 4, p. 1463-1472, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (ABRAPA). *Relatório de safra 2024/25*. Brasília: Abrapa, 2025.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. *AgroEstat - Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos*, versão 1.1.0.626. Jaboticabal: FCAV - Departamento de Ciências Exatas, 2011.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, v. 44, p. 453-460, 2014.

BARICHELLO, A.; ROCHA, M. O.; SOUZA, H. M.; ARAÚJO, I. V. S.; NUÑEZ, D. N. C. Application of drone to aid in the evaluation of trials in cotton cultivation (*Gossypium hirsutum* L.) Malvaceae f. *Brazilian Journal of Science*, v. 3, n. 3, p. 25-33, 2024.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973. DOI: 10.1007/BF00018060.

BREEZE, Emily; MULLINEAUX, Philip M. The Passage of H_2O_2 from Chloroplasts to Their Associated Nucleus During Retrograde Signalling: Reflections on the Role of the Nuclear Envelope. *Plants*, v. 11, n. 4, p. 552, 2022. DOI: 10.3390/plants11040552.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Safra 2024/25. 9. Levantamento*. Brasília: Conab, jun. 2025.

DAS MERCÊS JKR, REIS EG, COSTA MG, et al (2025) Methyl jasmonate modulates non-enzymatic antioxidant defenses in sugarcane under Diatraea saccharalis (Fabricius, 1794) infestation. **BMC Plant Biology** 26:126. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07912-w

FAROOQ, Muhammad et al. Evaluation of transplanting Bt cotton in a cotton-wheat cropping system. *Experimental Agriculture*, v. 53, n. 2, p. 227-241, 2017.

FREIRE, Eleusio Curvelo (Ed.). *Algodão no Cerrado do Brasil*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: ABRAPA: Gráfica e Editora Positiva, 2015.

GARCÍA-CAPARRÓS, Pedro et al. Oxidative Stress and Antioxidant Metabolism under Adverse Environmental Conditions: a Review. *The Botanical Review*, v. 87, n. 4, p. 421-466, 2021. DOI: 10.1007/s12229-020-09231-1.

GARCÍA-PASTOR, M. E. et al. Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Scientia Horticulturae*, v. 247, p. 380-389, 2019.

GOMES, I. H. R. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; PAIXÃO, F. J. R.; FILHO, J. L. S.; SUASSUNA, N. D. Selection of cotton genotypes for yield and fiber quality under water stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 8, p. 610-617, 2022.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRITO, G. G.; HEUERT, J. Evaluation of water-stress tolerance of Acala SJ 2 and Auburn 2 cotton cultivars in a phenotyping platform. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 4, p. 629-642, 2017.

JANS, Yvonne; VON BLOH, Werner; SCHAPHOFF, Sibyll; MÜLLER, Christoph. Global cotton production under climate change – Implications for yield and water consumption. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 25, n. 4, p. 2027-2044, 2021. DOI: 10.5194/hess-25-2027-2021.

KAZAN, Kemal. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. *Trends in Plant Science*, v. 20, n. 4, p. 219-229, 2015.

KHAN, Aziz et al. Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological Research*, v. 51, n. 47, 2018. DOI: 10.1186/s40659-018-0198-z.

LI, Baoqi et al. Phenomics-based GWAS analysis reveals the genetic architecture for drought resistance in cotton. *Plant Biotechnology Journal*, v. 18, n. 12, p. 2533-2544, 2020. DOI: 10.1111/pbi.13431.

LI, Baoqi et al. Phenotypic plasticity and genetic variation of cotton yield and its related traits under water-limited conditions. *The Crop Journal*, v. 8, n. 6, p. 966-976, 2020. DOI: 10.1016/j.cj.2020.02.003

MAHMOOD, Tahir et al. Insights into Drought Stress Signaling in Plants and the Molecular Genetic Basis of Cotton Drought Tolerance. *Cells*, Basel, v. 9, n. 1, p. 105, 2020. DOI: 10.3390/cells9010105.

MARYUM, Zahra et al. An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 907937, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.907937.

MARTÍNEZ-ESPLÁ, Alejandra et al. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, v. 98, p. 115-122, 2014. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2014.07.012.

NASCIMENTO, Moysés et al. Bayesian segmented regression model for adaptability and stability evaluation of cotton genotypes. *Euphytica*, v. 216, n. 2, p. 29, 2020. DOI: 10.1007/s10681-020-2564-5.

NINKUU, Vincent et al. The nutritional and industrial significance of cottonseeds and genetic techniques in gossypol detoxification. *Plants, People, Planet*, v. 6, n. 2, p. 271-286, mar. 2024. DOI: 10.1002/ppp3.10433.

QAMER, Z.; CHAUDHARY, M. T.; DU, X.; HINZE, L.; AZHAR, M. T. Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions. *Journal of Cotton Research*, v. 4, n. 1, p. 9, 2021.

QUAGGIO, José Antonio et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico (IAC), 2022. (Boletim Técnico, 100).

REHMAN, Aneeq ur et al. Intra-Plant Variability for Heat Tolerance Related Attributes in Upland Cotton. *Agronomy*, Basel, v. 11, n. 12, p. 2375, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11122375.

SALEEM, Muhammad Asif et al. Impact of heat stress responsive factors on growth and physiology of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Molecular Biology Reports*, v. 48, n. 1, p. 1069-1079, 2021. DOI: 10.1007/s11033-021-06217-z.

SHARMA, Anket et al. Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 39, p. 509-531, 2019. DOI: 10.1007/s00344-019-10018-x.

SHARMA, Anket et al. Nitric oxide-mediated regulation of oxidative stress in plants under metal stress: a review on molecular and biochemical aspects. *Physiologia Plantarum*, v. 168, n. 2, p. 318-344, 2020. DOI: 10.1111/ppl.13004.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MØLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. *Plant physiology and development*. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017. 761 p. ISBN 9781605352558.

ULLAH, Abid; SUN, Heng; YANG, Xiyan; ZHANG, Xianlong. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, v. 15, n. 3, p. 271-284, 2017. DOI: 10.1111/pbi.12688.

VITALE, Giuseppe Salvatore et al. Agronomic Strategies for Sustainable Cotton Production: A Systematic Literature Review. *Agriculture*, Basel, v. 14, n. 9, p. 1597, 2024.

WANG, Jia et al. Functions of Jasmonic Acid in Plant Regulation and Response to Abiotic Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 21, n. 4, p. 1446, 2020. DOI: 10.3390/ijms21041446.

WASEEM, Muhammad et al. Identification, methylation profiling, and expression analysis of stress-responsive cytochrome P450 genes in rice under abiotic and phytohormones stresses. *GM Crops & Food*, v. 12, n. 1, p. 551-563, 2021.

YANG, Zhaoen et al. Graph pan-genome illuminates evolutionary trajectories and agronomic trait architecture in allotetraploid cotton. *Nature Genetics*, v. 58, n. 1, 2026.

YOSEFI, Mehdi et al. Application of jasmonic acid can mitigate water deficit stress in cotton through yield-related physiological properties. *Acta Agrobotanica*, v. 71, n. 2, p. 1741, 2018.

ZHANG, Zhen et al. Genome-wide quantitative trait loci reveal the genetic basis of cotton fibre quality and yield-related traits in a *Gossypium hirsutum* recombinant inbred line population. *Plant Biotechnology Journal*, v. 18, n. 1, p. 259-273, 2020.

ZHENG, Shuaichao et al. Effect of Metabolic Changes in *Aphis gossypii*-Damaged Cotton Plants on Oviposition Preference and Larval Development. *Journal of Agriculture*, 2022.