

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**FOTOPERÍODO COMO ESTRATÉGIA DE *SPEED BREEDING* PARA A
CULTURA DO ALGODÃO**

IGOR KIOSHI HATISUKA MARANI
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2025

IGOR KIOSHI HATISUKA MARANI

**FOTOPERÍODO COMO ESTRATÉGIA DE *SPEED BREEDING* PARA A CULTURA
DO ALGODÃO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2025**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

Marani, Igor Kioshi Hatisuka

M26f

Fotoperíodo como estratégia de *Speed Breeding* para a cultura do algodão. / Igor Kioshi Hatisuka Marani - 2025.
41 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Rosa.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2025.

Inclui lista de tabelas e figuras.

1. *Gossypium hirsutum*. 2. *Speed Breeding*. 3. Cultivo *Indoor*. 4. Fotoperiodismo. I. Rosa, Márcio. II. II. Título.

CDD: 633.51

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

IGOR KIOSHI HATISUKA MARANI

**FOTOPERÍODO COMO ESTRATÉGIA DE SPEED BREEDING PARA A
CULTURA DO ALGODÃO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 27 de fevereiro de 2025

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO ROSA**
Data: 27/02/2025 13:48:39-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Márcio Rosa
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MAGNO QUEIROZ LUZ**
Data: 27/02/2025 11:41:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz
Membro Externo – UFU

Documento assinado digitalmente
 **GIVANILDO ZILDO DA SILVA**
Data: 10/03/2025 17:04:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva
Membro – FA/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS DE FREITAS SOUZA**
Data: 07/03/2025 13:08:13-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Membro - PPGPV/UniRV

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Sérgio Marani e minha mãe Selma Yuri Hatisuka Marani, por todo apoio, educação e incentivo, durante esta jornada.

Ao meu irmão Enzo Akira Hatisuka Marani e minha irmã Marília Tiemi Hatisuka Marani, por toda parceria, encorajamento e suporte, ao longo deste período.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda proteção, força e orientação, durante a minha vida, me possibilitando de enfrentar e superar todos os desafios.

Aos meus pais Sérgio Marani e Selma Yuri Hatisuka Marani, meus irmãos, Enzo Akira Hatisuka Marani e Marília Tieme Hatisuka Marani, por me guiarem e incentivarem nas decisões da minha vida, dando total apoio e clareza em minhas escolhas. Vocês foram essenciais em minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. Márcio Rosa, por toda orientação, conhecimento e ética, que proporcionaram a conclusão desta dissertação.

Aos demais professores, fica meu agradecimento, por toda contribuição, conselho, ideias e informações compartilhadas, que ajudaram meu crescimento intelectual e no manejo das pesquisas.

Aos graduandos Vitor Ferreira Miola e Rodolfo Caetano Almeida Martins Ferro, sou grato pelo auxílio nas avaliações do experimento.

A Universidade de Rio Verde – UniRV e aos servidores, pela oportunidade, ajuda e suporte, durante todo o projeto de mestrado.

Ao Complexo de Laboratórios de Biotecnologia Vegetal do IFGoiano – Campus Rio Verde, principalmente ao Lucas Loram Lourenço, pela disponibilidade e execução das avaliações de trocas gasosas.

A todos os meus colegas do mestrado, que durante este período, compartilharam momentos e conhecimentos positivos.

Enfim, agradeço a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 A CULTURA DO ALGODÃO.....	2
2.2 FOTOPERÍODO E <i>SPEED BREEDING</i>	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO.....	5
3.2 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	9
3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>A</i> – TESTE JIP.....	9
3.4 TROCAS GASOSAS.....	10
3.5 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS.....	10
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	10
4 RESULTADOS.....	11
5 DISCUSSÃO.....	21
6 CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Temperaturas máximas e mínimas do ar durante o experimento. Ind: ambiente indoor; Cv: ambiente de luz natural na casa de vegetação.....	5
FIGURA 2	Características do ambiente de crescimento para plantas cultivadas em ambiente <i>indoor</i>	7
FIGURA 3	Caracterização luminosa dos ambientes. Perfil espectral do ambiente <i>indoor</i> (A) e do ambiente da casa de vegetação (B); intensidade luminosa (Radiação Fotossinteticamente Ativa, 400 a 700 nm) no ambiente da casa de vegetação foi utilizada para o tratamento Controle (C). A linha com círculos pretos indica o interior da casa de vegetação, enquanto os círculos brancos representam o ambiente externo. Leitura realizada em 31/07/2024.	8
FIGURA 4	Índice de clorofila <i>a</i> (A - B), índice de clorofila <i>b</i> (C - D), índice de clorofila total (E - F) e razão clorofila <i>a/b</i> (G - H) em plantas de algodão das cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio).....	11
FIGURA 5	Taxa fotossintética (A - B), condutância estomática (C - D) e transpiração (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas).....	14
FIGURA 6	Eficiência instantânea de uso de água, EUA ou A/E (A - B), relação entre a concentração interna e externa de CO ₂ , Ci/Ca (C - D) e eficiência de carboxilação, A/Ci (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas).....	16
FIGURA 7	Altura da planta (A - B), diâmetro do caule (C - D) e área foliar (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas)..	17
FIGURA 8	Número de flores por planta em função dos dias de cultivo e do fotoperíodo nos cultivares de algodão TMG 33 B3RF (ciclo precoce - A) e TMG 91WS3 (ciclo tardio - B). As barras representam o erro padrão da média...	18

FIGURA 9	Número de capulhos em plantas de algodão do cultivar TMG 33 B3RF (ciclo precoce - A) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio - B) em função dos dias após a emergência e do fotoperíodo.....	19
FIGURA 10	Peso de sementes (A - B), número de sementes (C - D) e peso de fibra por planta (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas).....	19
FIGURA 11	Percentual de emergência de sementes de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (A) e TMG 91 WS3 (B) obtidas a partir de plantas submetidas a variação de fotoperíodo (horas).....	20
FIGURA 12	A aparência visual das plantas dos cultivares TMG 33 B3RF (A - D) e TMG 91 WS3 (E - H) aos 95 dias após a emergência, sob 10h (A e), 12h (B e F), 16h (C e G) e luz natural (D e H), respectivamente.....	21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Abreviações, fórmulas e definições dos parâmetros do teste JIP usados no presente estudo (Strasser et al., 2000, 2004).....	9
TABELA 2	Parâmetros da fluorescência da clorofila da cultivar TMG 33 B3RF aos 35 e 85 dias após a emergência, em função do fotoperíodo.....	12
TABELA 3	Parâmetros da fluorescência da clorofila da cultivar TMG 91WS3 aos 35 e 85 dias após a emergência, em função do fotoperíodo.....	13

RESUMO

MARANI, I. K. H. Mestrado, UniRV – Universidade de Rio Verde, fevereiro de 2025.
Fotoperíodo Como Estratégia de Speed Breeding Para a Cultura do Algodão. Orientador:
Prof. Dr. Márcio Rosa.

Ajustes no fotoperíodo, especialmente, em ambientes controlados, podem influenciar significativamente nas respostas fisiológicas das plantas, acelerando estágios críticos como a floração. Tal processo representa um avanço potencial para os processos de *Speed Breeding*. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a influência do fotoperíodo nas características morfofisiológicas de cultivares de algodão como ferramenta potencial para *Speed Breeding*. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos: três regimes de fotoperíodo (10/14, 12/12 e 16/8 horas de luz e escuro, respectivamente) em ambiente indoor e um controle sob luz natural em uma casa de vegetação. Duas cultivares, com ciclos de crescimento contrastantes (precoce e tardio), foram avaliadas. As variáveis analisadas incluíram trocas gasosas, índice de clorofila, parâmetros biométricos, número de dias até a floração e percentual de emergência das sementes. As plantas sob luz natural apresentaram índices de clorofilas mais elevados e maior eficiência no uso da água. A cultivar de ciclo precoce demonstrou sensibilidade a fotoperíodos prolongados, resultando na ausência de floração, bem como, baixo percentual de emergência das sementes geradas em ambiente *indoor*. Enquanto as plantas de ciclo tardio anteciparam a maturação dos capulhos em até vinte dias em um ambiente de luz controlada. Esses achados ressaltam a importância do manejo preciso do fotoperíodo para otimizar a produção de algodão em sistemas controlados, fornecendo *insights* valiosos, para o avanço das técnicas de *Speed Breeding*.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*, *Speed Breeding*, Cultivo Indoor, Fotoperiodismo.

ABSTRACT

MARANI, I. K. H. M.Sc., UniRV – University of Rio Verde, February 2025. **Photoperiod as a Speed Breeding Strategy for Cotton Cultivation.** Advisor: Prof. Dr. Márcio Rosa.

Adjustments to the photoperiod, especially in controlled environments, can significantly influence plants' physiological responses by accelerating critical stages such as flowering, representing a potential breakthrough for Speed Breeding processes. In this context, the objective was to evaluate the influence of photoperiod on the morphophysiological characteristics of cotton cultivars and efficiently accelerate their production cycle. The experiment followed a completely randomized design with four treatments: three photoperiod regimes (10/14, 12/12, and 16/8 hours of light and dark, respectively) in an indoor environment and a control under natural light in a greenhouse. Two cultivars with contrasting growth cycles (early and late) were evaluated. The variables analyzed included gas exchange, chlorophyll index, biometric parameters, number of days to flowering, and percentage of seed emergence. Plants under natural light exhibited higher chlorophyll indices and greater water use efficiency. The early-cycle cultivar demonstrated sensitivity to prolonged photoperiods, resulting in the absence of flowering and a low percentage of seed emergence in the indoor environment, while the late-cycle plants advanced the maturation of their fruiting structures by up to twenty days under controlled light conditions. These findings underscore the importance of precise photoperiod management for optimizing cotton production in controlled systems and provide valuable insights for advancing Speed Breeding techniques.

Keywords: *Gossypium hirsutum*, Speed Breeding, Indoor cultivation, photoperiodism.

1 INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de grande importância econômica, servindo como fonte natural de: fibra, óleo e sementes para alimentação animal. Dentre o potencial de uso dessa cultura, a sua aplicação na indústria têxtil é a mais relevante (Tiwari; Koul, 2023; Rocha-Munive et al., 2018). Entre os países produtores, o Brasil se consolidou entre os cinco maiores produtores globais, ao lado de países como: China, Índia, Estados Unidos e Paquistão (Conab, 2023). Esse desempenho se deve, em grande parte: ao desenvolvimento de cultivares geneticamente melhoradas, com maior resistência a pragas, doenças e adaptadas às condições climáticas específicas das regiões produtoras, garantindo um aumento considerável na produtividade (Tiwari; Koul, 2023).

O melhoramento de plantas tem promovido o aumento de produtividade das culturas agrícolas, empregando cada vez mais técnicas precisas para esse fim (Atlin et al., 2017). Além disso, nos últimos anos maior ênfase tem sido dada para o melhoramento das culturas para maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. A demanda por materiais geneticamente modificados e funcionais está crescendo em resposta aos desafios edafoclimáticos e à necessidade de atender rapidamente à demanda por matérias-primas. Para a cultura do algodão, o melhoramento também tem permitido uma enorme evolução no sistema produtivo da cultura. No entanto, o processo de desenvolvimento de uma nova variedade de algodão é demorado, podendo levar até 10 anos, para ser concluído.

Nos últimos anos, técnicas inovadoras no melhoramento genético têm proporcionado acelerar esse processo de obtenção de novas cultivares. Por exemplo, atualmente é possível conduzir até quatro ciclos de seleção no mesmo período (Umburanas, 2020; Khan et al., 2023). Entre as técnicas que permitem acelerar o processo de melhoramento de cultivares, o *Speed Breeding* (SB) se destaca como uma estratégia inovadora realizada principalmente em ambientes controlados (indoor), em que as condições ambientais são manipuladas para acelerar a floração e a produção de sementes, permitindo avanços rápidos na geração de novas variedades (Wanga et al., 2021). Dentre as manipulações ambientais possíveis, destacam-se: o controle da qualidade e intensidade da luz, temperatura e fotoperíodo, sendo este último o fator que exerce maior influência no crescimento morfológico e no comportamento reprodutivo das plantas (Samineni et al., 2020).

Apesar dos resultados positivos obtidos empiricamente com SB e manejo de fotoperíodo, esses procedimentos exigem maior precisão, pois estudos indicam que, em alguns

casos, o crescimento e a produtividade de certas culturas foram reduzidos sob condições de luz contínua, possivelmente devido ao aumento da produção de: amido, ácido abscísico e etileno, ocasionando danos foto-oxidativos (Jähne et al., 2020). No entanto, estudos que abordam o uso do SB no algodão, especialmente no que diz respeito ao manejo seguro do fotoperíodo, ainda são escassos, evidenciando a necessidade urgente de experimentação com essas técnicas.

Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que a aplicação de iluminação artificial e fotoperíodo controlado, com o uso de diodos emissores de luz (LEDs), influencia as características morfofisiológicas de cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), permitindo a aceleração do ciclo produtivo. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do fotoperíodo sobre as características morfofisiológicas de cultivares de algodão e promover de forma eficiente a aceleração de seu ciclo produtivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do algodão

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de importância para a economia brasileira, desempenhando um papel na indústria têxtil e na geração de empregos (Barros et al., 2022). China, Índia, Brasil, Estados Unidos, Austrália e Paquistão figuram entre os principais produtores mundiais de algodão (USDA, 2025). No Brasil, o estado de Mato Grosso responde pela maior produção de pluma, com mais da metade de toda a produção nacional, seguido pela Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Maranhão e Goiás (ABRAPA, 2024; IBGE, 2024). A crescente demanda por fibras de alta qualidade tem destacado o algodão brasileiro como uma *commodity* de destaque no mercado internacional.

O algodão apresenta características morfológicas distintas que contribuem para sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas. Pertencente à família Malvaceae, possui hábito de crescimento arbustivo, com: folhas alternadas, lobadas, com coloração verde intensa, flores solitárias com formato campanulado e frutos cápsulas que abrigam as sementes envoltas em fibras (Wendel; Grover, 2015).

A temperatura representa um elemento ambiental na modulação do acúmulo de fitomassa e no desenvolvimento fenológico do algodoeiro. Os predecessores das variedades comerciais do algodoeiro têm origem tropical e naturalmente adaptadas ao crescimento e

desenvolvimento em ambientes de clima quente. Assim, as cultivares atuais preservam as condições térmicas elevadas como ótimas para o crescimento, mantendo as características climáticas semelhantes às dos seus antecessores. A temperatura ideal para atividades enzimáticas, germinação, crescimento, desenvolvimento radicular, desenvolvimento vegetativo, florescimento e produção de fibras no algodoeiro varia em torno de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ (Burke; Wanjura, 2010).

O algodoeiro, possui mecanismo de fixação de carbono C_3 , com baixa eficiência fotossintética comparado com as plantas C_4 , com elevada taxa de fotorrespiração (Magalhães, 1979). O ponto de saturação luminoso varia de acordo com a idade da folha, folhas com menos que 15 dias possuem resposta máxima sob intensidade luminosa de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com 16-18 dias a taxa fotossintética máxima atingida é com a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a partir desse ponto a luminosidade diminui, tendo a saturação luminosa em folhas de 27 dias com $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, aos 44 dias $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e folhas superiores a 60 dias $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Constable; Rawson, 1980). O ponto de compensação luminoso é maior em folhas jovens comparado com as velhas, sendo folhas de 15 dias com ponto de compensação de $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 30 dias com $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 45 dias com $19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 60 dias $9,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Echer; Rosolem, 2015).

2.2 Fotoperíodo e *Speed Breeding*

Em muitas plantas, uma mudança no fotoperíodo é percebida por fotorreceptores, e pode desencadear uma transição para o desenvolvimento reprodutivo. Isso maximiza o sucesso reprodutivo sincronizando o desenvolvimento da planta com as estações sazonais no ambiente.

Algumas espécies de plantas cultivadas necessitam de fotoperíodos indutivos para completar seu ciclo de vida, respondendo a comprimentos de dias longos ou curtos. Existem também espécies fotoneutras, nas quais o fotoperíodo não influencia seu desenvolvimento (Wickramasinghe et al., 2024). Em plantas que respondem ao fotoperíodo, ele pode interferir nos níveis hormonais endógenos, modificando seu crescimento (Salisbury; Ross, 1991).

O ciclo de luz, determinado pela duração do fotoperíodo, é percebido por fotorreceptores que detectam diferentes comprimentos de onda do espectro solar, enviando essa informação ao relógio circadiano (Osnato et al., 2022; Gendron; Staiger, 2023). A percepção da luz ativa uma cascata de eventos moleculares que regulam genes associados ao relógio biológico, ajustando o crescimento e desenvolvimento da planta de acordo com as variações ambientais (Pokhilko et al., 2012).

Embora o fotoperíodo seja essencial, para o controle da floração, os mecanismos moleculares que regulam o tempo de floração no algodão ainda não são totalmente compreendidos. Estudos recentes indicam que dois integradores de múltiplas vias de floração, *GhFT* e seu possível ativador *GhCOL1* (CONSTANS-like 1), desempenham papéis centrais nesse processo. Em *Arabidopsis*, a superexpressão desses genes resultou em floração precoce, e ambos apresentaram expressão rítmica diurna com picos pela manhã, sugerindo que o relógio circadiano tem um papel importante na regulação da floração do algodão (Guo et al., 2015; Cai et al., 2017; Hao et al., 2021).

Nesse contexto, a técnica de SB acelera o processo de floração, reduzindo o período noturno, para plantas de dia longo e de dia neutro, como o algodão (Gosh et al., 2018; Watson et al., 2018) e aumenta o período noturno para plantas de dia curto (Jähne et al., 2020; Bhatta et al., 2021). Dessa forma, busca o avanço rápido de gerações, encurtando o ciclo da cultura através da manipulação do clima e do fotoperíodo para maximizar a taxa de desenvolvimento das plantas e antecipar a floração (Harrison et al., 2021).

Os estudos iniciais sobre SB tiveram como base um experimento conduzido pelo programa de Suporte Avançado da Vida (NASA) envolvendo o primeiro cultivo de plantas em condições de luminosidade prolongada (Rowell et al., 1999). Posteriormente, examinaram a dormência de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizando fotoperíodos prolongados e lâmpadas de sódio de baixa pressão em condições controladas (Hickey et al., 2009).

Os resultados indicaram que a utilização de iluminação artificial para prolongar o fotoperíodo, combinada com temperatura controlada, acelerando a taxa de germinação das sementes de trigo até a maturidade.

Watson et al. (2018), discutiram estudos sobre técnicas de SB, em que se utilizou fotoperíodos prolongados como uma ferramenta de reprodução para acelerar a taxa de crescimento de diversas espécies de gramíneas, incluindo trigo de primavera (*T. aestivum*), trigo duro (*Triticum durum*), cevada (*Hordeum vulgare*) e a espécie de grama modelo, *Brachypodium distachyon*. Foi empregado um fotoperíodo de 22/2, luz e escuro, respectivamente, para maximizar o comprimento do dia e manter os genes do relógio circadiano. Houve redução para a antese em todas as espécies, sendo que *B. distachyon* atingiu o estágio de antese em 26 dias (redução de 50%), cevada em 37-38 dias (redução de 52%) e trigo de primavera em 35-39 dias (redução de 53%) (Watson et al., 2018).

Embora outros bons resultados de SB com manejo de fotoperíodo sejam obtidos empiricamente, tais procedimentos exigem maior rigor, pois estudos indicaram que em alguns casos houve diminuição no crescimento e na produtividade de certas culturas sob condições de

luz contínua, possivelmente devido à produção aumentada de amido, ácido abscísico e etileno, o que leva a danos fotooxidativos (Jähne et al., 2020). Estudos sobre SB relacionado ao algodoeiro, sobretudo no que tange ao manejo seguro do fotoperíodo ainda são escassos, tornando premente a experimentação utilizando tais técnicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Configuração Experimental e Condições de Cultivo

O experimento foi conduzido em uma sala de crescimento sob uma estrutura metálica (1,25 x 0,75 x 0,45 m – C, L e A) e em casa de vegetação localizada na Fazenda Fontes do Saber, no campus da Universidade de Rio Verde (17°47'18" S e 50°57'31" W, com altitude de 739 m). As temperaturas máxima e mínima foram medidas diariamente utilizando um termômetro digital, modelo K29-5070H (Kasvi, PR, Brasil). Os dados são apresentados na Figura 1.

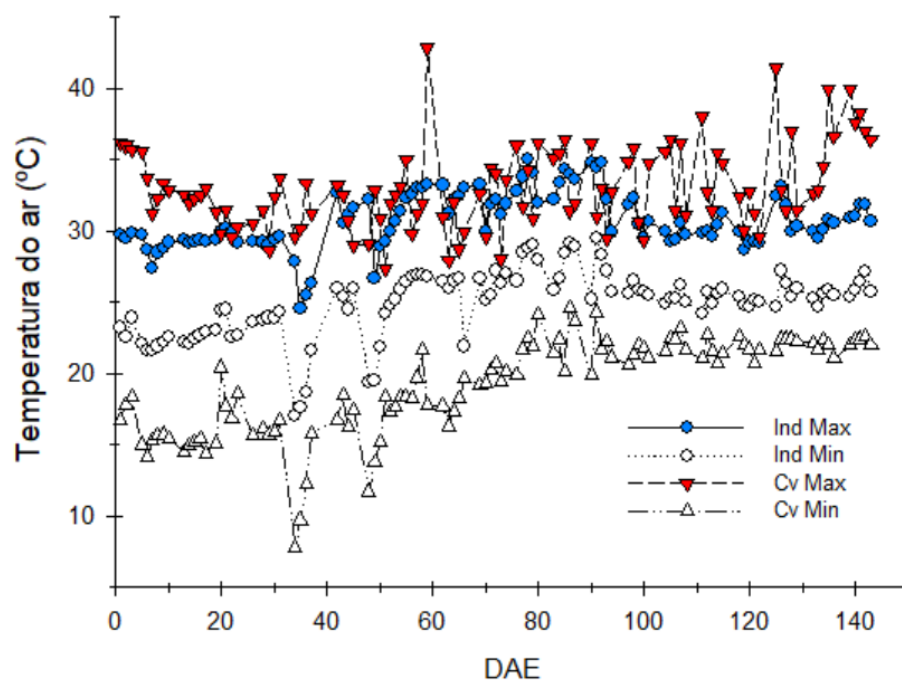


FIGURA 1 - Temperaturas máximas e mínimas do ar durante o experimento. **Ind**: ambiente indoor; **Cv**: ambiente de luz natural na casa de vegetação.

As sementes de duas cultivares de algodão, TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), foram cultivadas em vasos plásticos contendo 7 kg de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, com as seguintes características físico-químicas: 36,8% de argila, 12,1% de silte; 51% de areia; pH (CaCl₂) 5,4; 27,4 g dm⁻³ de matéria orgânica; 36 mg dm⁻³ de P (Mel.); 245 mg dm⁻³ de K; 4,01 cmolc dm⁻³ de Ca; 3,39 cmolc dm⁻³ de Mg; 8,14 cmolc dm⁻³ de soma de bases; 12,92 cmolc dm⁻³ de capacidade de troca de cátions (CTC); saturação por bases (V) de 63%; 32 mg dm⁻³ de S; 87,7 mg dm⁻³ de Mn; 9,7 mg dm⁻³ de Fe; 5,1 mg dm⁻³ de Cu; 5,1 mg dm⁻³ de Zn; 0,4 mg dm⁻³ de B; e 25 mg dm⁻³ de Na.

A semeadura ocorreu em 5 de julho de 2024, com a emergência total das plântulas cinco dias depois. No plantio, 15 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) foram aplicados na forma de ureia, 90 kg ha⁻¹ de fósforo (P) via superfosfato simples, 50 kg ha⁻¹ de potássio (K) com cloreto de potássio e 2 kg ha⁻¹ de boro (B) utilizando o fertilizante Mibcolene. Aos 30 dias após o plantio, a adubação foi realizada com 45 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio e 50 kg ha⁻¹ de K novamente com cloreto de potássio. Aos 50 dias, 500 mL de solução nutritiva Flex Blue+Red (PlantPar[®]) foram aplicados por vaso. Aos 60 dias, uma nova adubação com 45 kg ha⁻¹ de N foi realizada na forma de ureia. Além disso, a aplicação foliar de boro foi iniciada no estágio B1, em intervalos de 15 dias, totalizando 2 kg ha⁻¹ de B, divididos em três aplicações de 0,67 kg ha⁻¹ cada, utilizando ácido bórico. No sétimo dia após a emergência, um desbaste foi realizado, deixando apenas duas plantas por vaso. Aos 40 dias, um novo desbaste foi realizado, mantendo apenas uma planta por vaso.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, avaliando o desempenho das duas cultivares, uma de maturação precoce (TMG 33 B3RF) e outra de maturação tardia (TMG 91 WS3), sob três fotoperíodos controlados: um fotoperíodo de dia longo (DL) com ciclo de 16 horas de luz/8 horas de escuro, um fotoperíodo de 12 horas de luz/12 horas de escuro e um fotoperíodo de dia curto (DC) com 10 horas de luz/14 horas de escuro, além do controle sob luz solar natural (casa de vegetação). Para manter o isolamento da luz, cada bancada de iluminação foi envolta com uma camada de lona espessa. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi ajustada para 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fornecida por lâmpadas LED de amplo espectro de 600W (67,9% vermelho, 8,2% verde, 22,9% azul e 1% vermelho distante) (modelo SI RBW, Spectral Int[®], GO, Brasil) (Figura 2).



FIGURA 2 - Características do ambiente de crescimento para plantas cultivadas em ambiente *indoor*.

A intensidade e a qualidade da luz foram monitoradas utilizando um espectrorradiômetro LI-180 (Li-Cor, NE, USA). Esse equipamento também foi utilizado para caracterizar a luminosidade na casa de vegetação, sendo instalado o tratamento controle, verificando-se que, o plástico interceptava entre 60% e 70% da luminosidade externa (Figura 3).

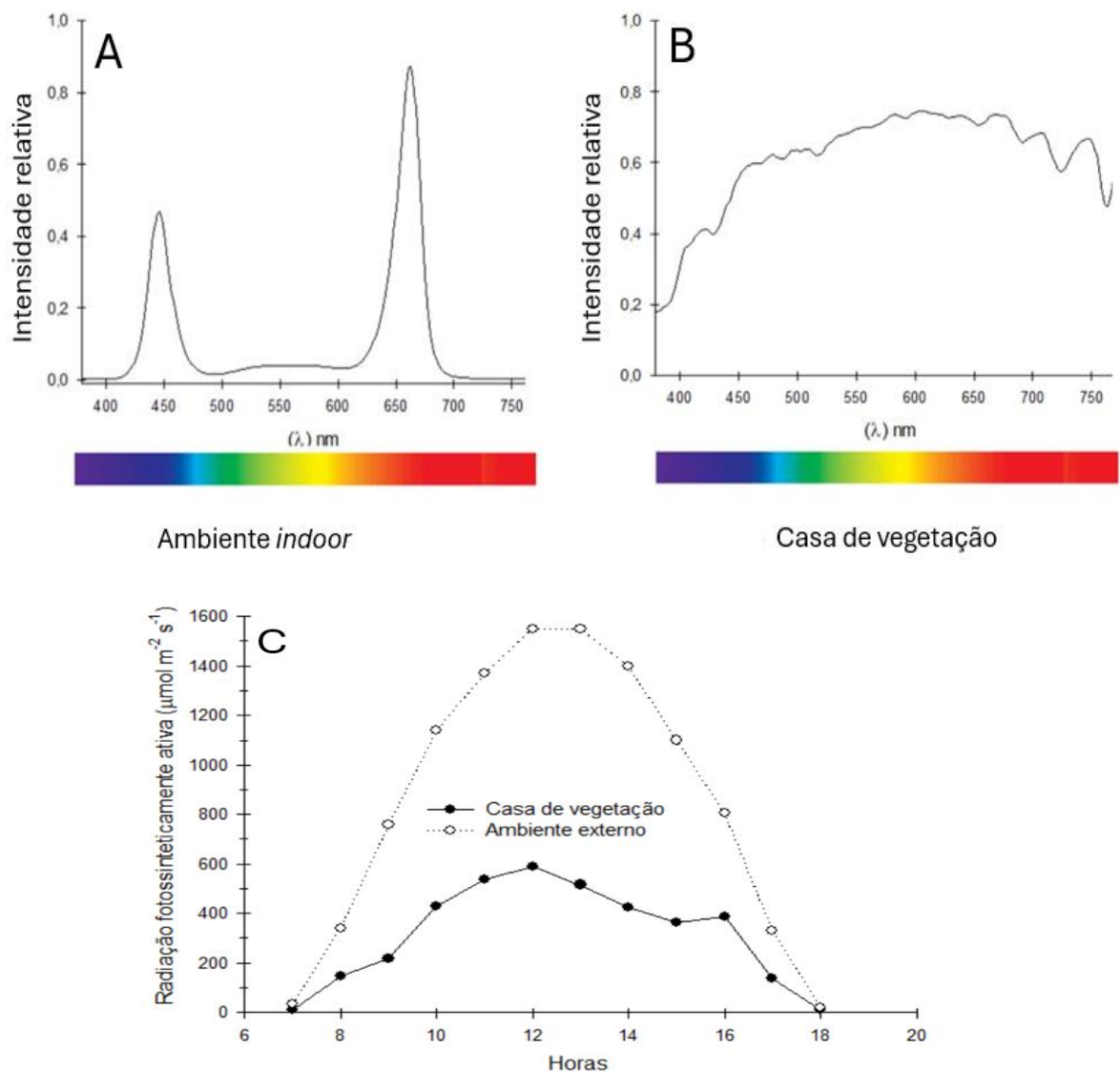


FIGURA 3 - Caracterização luminosa dos ambientes. Perfil espectral do ambiente *indoor* (A) e do ambiente da casa de vegetação (B); intensidade luminosa (Radiação Fotossinteticamente Ativa, 400 a 700 nm) no ambiente da casa de vegetação foi utilizada para o tratamento Controle (C). A linha com círculos pretos indica o interior da casa de vegetação, enquanto os círculos brancos representam o ambiente externo. Leitura realizada em 31/07/2024.

As avaliações fisiológicas foram conduzidas aos 35 e aos 85 dias após a emergência. As análises de: pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas foram realizadas nos mesmos períodos. Ao final do experimento, foram determinados os índices biométricos, bem como a produtividade de sementes e fibras.

3.2 Pigmentos Fotossintéticos

Os índices totais de clorofila foram determinados utilizando um medidor portátil de clorofila modelo ClorofiLOG CFL 1030 (Falker, RS, Brasil) em folhas completamente expandidas, obtendo-se os índices de clorofila *a*, *b* e total, bem como a razão entre clorofila *a* e *b*.

3.3 Fluorescência da Clorofila *a* – Teste JIP

Os parâmetros da fluorescência transiente da clorofila OJIP foram determinados utilizando um fluorômetro portátil FluorPen FP 110 (Photon Systems Instruments; Drasov, República Tcheca). As amostras foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos para garantir a oxidação completa do sistema de transporte de elétrons fotossintético nas folhas. Os parâmetros estabelecidos pelo teste JIP (Tabela 1) foram calculados com base na fluorescência transiente OJIP (Strasser et al., 2000, 2004).

TABELA 1 - Abreviações, fórmulas e definições dos parâmetros do teste JIP usados no presente estudo (Strasser et al., 2000, 2004)

Parâmetro	Fórmulas	Definições
F_0	$\approx F_{50\mu s}$ or $\approx F_{20\mu s}$	Fluorescência mínima (assume-se que todos os centros de reação do PSII estejam abertos).
F_m	(= F_p)	Fluorescência máxima
F_v	($F_m - F_0$)	Fluorescência variável
M_0 or (dV/dt) ₀	$4.(F_{300\mu s} - F_0)/(F_m - F_0)$	Rendimento quântico da dissipação de energia. Taxa líquida de fechamento do fotossistema II.
F_v/F_0	($F_m - F_0$)/ F_0	Razão entre as eficiências quânticas fotoquímica e não fotoquímica (atividade potencial do PSII).
ϕP_0 or F_v/F_m	($F_m - F_0$)/(F_m)	Rendimento quântico potencial
Ψ_0	$1 - VJ$	Probabilidade de que um éxciton aprisionado mova um elétron para a cadeia de transporte de elétrons além de Quinona A.
ϕD_0	F_0/F_m	Rendimento quântico da dissipação de energia
ϕE_0	$\phi P_0 \cdot \Psi_0$	Rendimento quântico de transporte de elétrons (ET)
PIABS	$RC/ABS \times \phi P_0 / (1 - \phi P_0) \times \Psi_0 / (1 - \Psi_0)$	Índice de desempenho fotoquímico do FSII
ABS/RC	$M_0 \times (1/VJ) \times (1/\phi P_0)$	Fluxo de absorção de energia por centro de reação
Di_0/RC	(ABS/RC) – (TR_0/RC)	Total de energia dissipada por centro de reação.

3.4 Trocas Gasosas

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para medir: a taxa fotossintética (A), a taxa de transpiração (E), a condutância estomática (gs), a eficiência do uso da água (EUA – A/E), a razão entre a concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca) e a eficiência da carboxilação (A/Ci). Essas avaliações foram conduzidas utilizando um sistema portátil de trocas gasosas LI-6800 (Li-Cor, NE, EUA), entre 8h e 11h, em uma folha completamente expandida. A temperatura do bloco de medição foi ajustada para 25 °C, e a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos foi regulada para 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.5 Características Biométricas

O comprimento da parte aérea foi medido com fita métrica, e o diâmetro do caule foi determinado, com um paquímetro digital. A área foliar foi determinada utilizando a equação proposta por Grimes e Carter (1969):

$$AF = 0,4322 \cdot x^{2,3002}, \text{ onde:}$$

AF: Área foliar unitária (cm²);

x: Comprimento da nervura principal da folha de algodão (cm), medido com régua milimetrada.

Além disso, foi registrado o número de dias após a emergência necessários para a emissão floral, bem como a contagem de flores, maçãs e cápsulas formadas. Ao final do experimento (144 DAE), a massa seca das sementes e fibras foi determinada por pesagem em balança de precisão.

3.6 Análise Estatística

Os dados foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, seguido de análise de variância. As comparações entre os dados foram realizadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o *software* Sisvar (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS

Nas plantas da cultivar TMG 33 B3RF, os índices de clorofila *a*, *b* e clorofilas totais foram mais elevados naquelas cultivadas sob luz natural, em relação aos ambientes, sob luz artificial (Figuras 4A, C e). No entanto, a razão clorofila *a/b* (*Cla/Clb*) registrou tendência oposta (Figura 4G). Para a cultivar TMG 91 WS3, os índices de clorofila foram semelhantes aos observados na TMG 33 B3RF. Contudo, em relação à razão *Cla/Clb*, as plantas expostas ao fotoperíodo de 12 horas não apresentaram diferenças significativas, em comparação com os outros ambientes (Figura 4H).

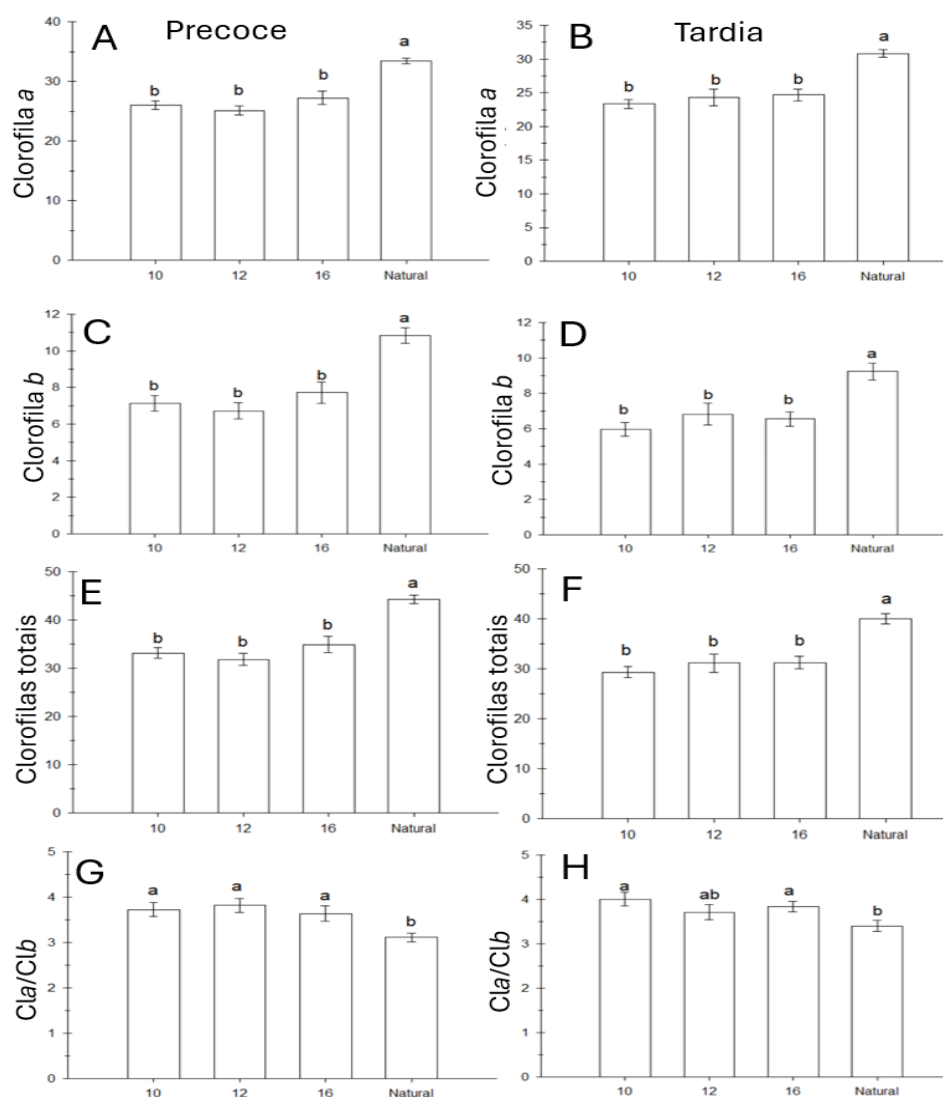


FIGURA 4 - Índice de clorofila *a* (A - B), índice de clorofila *b* (C - D), índice de clorofila total (E - F) e razão clorofila *a/b* (G - H) em plantas de algodão das cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio).

O parâmetro de fluorescência da clorofila *a* observado na cultivar TMG 33 B3RF apresentou alterações significativas na avaliação realizada aos 35 dias após a emergência. Aos 85 dias, apenas as variáveis Fv/Fo e PIABS tiveram variação entre os tratamentos (Tabela 2).

TABELA 2 - Parâmetros da fluorescência da clorofila da cultivar TMG 33 B3RF aos 35 e 85 dias após a emergência, em função do fotoperíodo

TMG 33 B3RF		35 Dias após a emergência		
Fotoperíodo				
Parâmetros de fluorescência	10	12	16	Natural
M ₀	0.7 ± 0.03 ^{ab}	0.73 ± 0.04 ^a	0.7 ± 0.03 ^{ab}	0.59 ± 0.03 ^b
Fv/F ₀	3.1 ± 0.2 ^b	2.8 ± 0.2 ^{bc}	2.3 ± 0.2 ^c	4.8 ± 0.1 ^a
φP ₀	0.76 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.01 ^b	0.70 ± 0.01 ^c	0.83 ± 0.01 ^a
Ψ ₀	0.55 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.01 ^b	0.61 ± 0.01 ^a
φE ₀	0.41 ± 0.01 ^b	0.39 ± 0.01 ^{bc}	0.37 ± 0.01 ^c	0.51 ± 0.01 ^a
φD ₀	0.24 ± 0.01 ^b	0.27 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.02 ^a	0.17 ± 0.01 ^c
PIABS	1.9 ± 0.20 ^b	1.5 ± 0.20 ^b	1.2 ± 0.14 ^b	4.2 ± 0.34 ^a
ABS/RC	2.0 ± 0.07 ^{ab}	2.1 ± 0.10 ^a	2.1 ± 0.07 ^a	1.8 ± 0.06 ^b
Di ₀ /RC	0.50 ± 0.04 ^b	0.57 ± 0.05 ^{ab}	0.64 ± 0.04 ^a	0.32 ± 0.02 ^c
85 Dias após a emergência				
	10	12	16	Natural
M ₀	0.73 ± 0.01 ^{ns}	0.69 ± 0.01	0.73 ± 0.04	0.76 ± 0.02
Fv/ F ₀	4.4 ± 0.1 ^{ab}	4.6 ± 0.1 ^a	4 ± 0.1 ^b	4.1 ± 0.1 ^b
φP ₀	0.82 ± 0.01 ^{ns}	0.82 ± 0.01	0.80 ± 0.01	0.80 ± 0.01
Ψ ₀	0.58 ± 0.01 ^{ns}	0.58 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.57 ± 0.01
φE ₀	0.47 ± 0.01 ^{ns}	0.48 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.46 ± 0.01
φD ₀	0.18 ± 0.01 ^{ns}	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.01
PIABS	2.9 ± 0.10 ^{ab}	3.2 ± 0.06 ^a	2.6 ± 0.17 ^{ab}	2.5 ± 0.09 ^b
ABS/RC	2.1 ± 0.04 ^{ns}	2.0 ± 0.02	2.1 ± 0.06	2.21 ± 0.03
Di ₀ /RC	0.39 ± 0.01 ^{ns}	0.36 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.44 ± 0.01

Média ± EP (n = 5). Valores com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% em cada período avaliado. ± indica o erro padrão.

TABELA 3 - Parâmetros da fluorescência da clorofila da cultivar TMG 91WS3 aos 35 e 85 dias após a emergência, em função do fotoperíodo

TMG 91 WS3	35 Dias após a emergência			
	Fotoperíodo			
Parâmetros de fluorescência	10	12	16	Natural
M ₀	0.8 ± 0.08 ^a	0.72 ± 0.03 ^{ab}	0.79 ± 0.04 ^a	0.62 ± 0.02 ^c
Fv/F ₀	3.0 ± 0.4 ^b	3.0 ± 0.1 ^b	2.0 ± 0.1 ^c	4.5 ± 0.1 ^a
φP ₀	0.74 ± 0.02 ^b	0.75 ± 0.01 ^b	0.66 ± 0.02 ^c	0.82 ± 0.01 ^a
Ψ ₀	0.53 ± 0.03 ^{ab}	0.52 ± 0.01 ^{bc}	0.46 ± 0.02 ^c	0.58 ± 0.01 ^a
φE ₀	0.40 ± 0.04 ^b	0.39 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.02 ^c	0.48 ± 0.01 ^a
φD ₀	0.26 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.01 ^c
PIABS	1.9 ± 0.80 ^b	1.6 ± 0.1 ^b	0.8 ± 0.17 ^b	3.5 ± 0.27 ^a
ABS/RC	2.2 ± 0.14 ^a	2.0 ± 0.06 ^{ab}	2.2 ± 0.08 ^a	1.8 ± 0.04 ^b
Di ₀ /RC	0.59 ± 0.07 ^b	0.51 ± 0.02 ^b	0.76 ± 0.05 ^a	0.33 ± 0.01 ^c
	85 Dias após a emergência			
	10	12	16	Natural
	40 DAE			
M ₀	0.89 ± 0.03 ^{ns}	0.88 ± 0.04	0.79 ± 0.03	0.77 ± 0.04
Fv/F ₀	3.9 ± 0.06 ^{ns}	4.1 ± 0.1	3.9 ± 0.1	3.8 ± 0.2
φP ₀	0.80 ± 0.01 ^{ns}	0.81 ± 0.01	0.80 ± 0.01	0.79 ± 0.01
Ψ ₀	0.53 ± 0.01 ^{ns}	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.01
φE ₀	0.42 ± 0.01 ^{ns}	0.44 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.45 ± 0.01
φD ₀	0.21 ± 0.01 ^{ns}	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.01
PIABS	1.8 ± 0.10 ^{ns}	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.12	2.3 ± 0.27
ABS/RC	2.4 ± 0.05 ^{ns}	2.4 ± 0.07	2.2 ± 0.06	2.3 ± 0.08
Di ₀ /RC	0.48 ± 0.01 ^{ns}	0.47 ± 0.02	0.44 ± 0.01	0.49 ± 0.03

Média ± EP (n = 5). Valores com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% em cada período avaliado. ± indica o erro padrão.

Na cultivar TMG 91 WS3, de forma semelhante ao observado na TMG 33 B3RF, foram notados indicadores médios de eficiência fotoquímica menores em plantas cultivadas em ambiente *indoor*, em comparação com aquelas sob luz natural, sendo observada estabilidade durante o período de floração (Tabela 3).

A taxa fotossintética na cultivar TMG 33 B3RF não variou entre os fotoperíodos, independentemente do período avaliado (Figura 5A). No entanto, aos 35 DAE, a condutância estomática das plantas sob luz natural foi significativamente menor do que a daquelas sob os fotoperíodos de 10 e 12 horas, mas não diferiu daquelas cultivadas sob 16 horas, cujo valor também foi inferior ao observado sob 10 horas (Figura 5C). Aos 85 DAE, uma resposta semelhante foi observada, entre as plantas mantidas em ambiente *indoor*, que superaram aquelas sob luz natural. De um período de avaliação para o outro, apenas plantas sob o fotoperíodo de 16 horas exibiram variação na condutância, com um aumento registrado na

segunda avaliação (Figura 5C). A taxa de transpiração (Figura 5E) apresentou um padrão de resposta semelhante ao da condutância estomática.

Para a cultivar TMG 91 WS3, plantas cultivadas sob luz natural exibiram taxas fotossintéticas mais altas, em comparação com aquelas cultivadas, sob condições de fotoperíodo controlado (Figura 5B). A condutância estomática (Figura 5D) e a taxa de transpiração (Figura 5F) exibiram maiores médias registradas para plantas submetidas aos fotoperíodos de 10 e 12 horas, em comparação com aquelas sob luz natural. Plantas expostas ao fotoperíodo de 16 horas não exibiram diferenças significativas em relação às outras condições

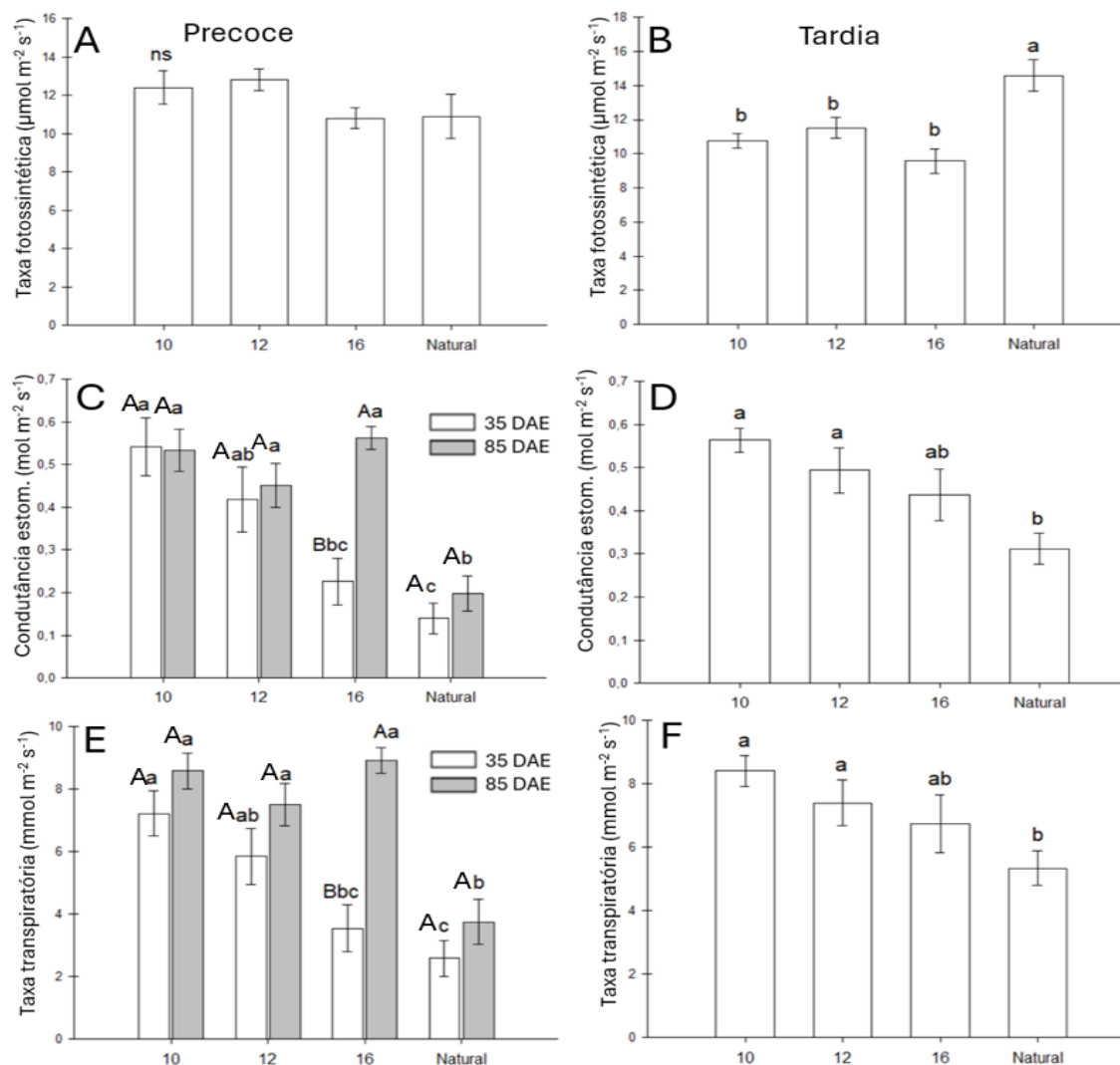


FIGURA 5 - Taxa fotossintética (A - B), condutância estomática (C - D) e transpiração (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas). As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os fotoperíodos, e as médias com a mesma letra maiúscula não diferem dentro de cada período de avaliação, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão da média.

Aos 35 DAE, o uso da luz natural proporcionou maior eficiência no uso da água (EUA) comparado aos regimes de luz controlados com fotoperíodo igual a 10 e 12 horas para cultivar TMG 33 B3RF (Figura 6A). Aos 85 DAE, o regime de luz natural proporcionou maior EUA comparado ao ambiente *indoor*, sem diferenças entre os comprimentos de fotoperíodo (Figura 6A).

Aos 85 DAE, o regime de luz natural proporcionou maior EUA comparado ao ambiente *indoor*, sem diferenças entre os comprimentos de fotoperíodo (Figura 6A). Para a cultivar TMG 91 WS3, independentemente do período de avaliação, a EUA foi maior em plantas cultivadas sob luz natural comparado ao ambiente *indoor*, sem diferenças entre os regimes de fotoperíodo (Figura 6B).

A razão C_i/C_a em ambas as cultivares (Figuras 6C-D) seguiu resposta semelhante ao observado para a condutância estomática. Para a cultivar TMG 33 B3RF a eficiência de carboxilação (A/C_i) na manteve-se estável aos 35 DAE. Aos 85 DAE, o fotoperíodo de 12 horas proporcionou valores mais altos em comparação com aquelas sob fotoperíodos de 10 e 16 horas, mas com médias similares aos das plantas sob luz natural. Exceto para o fotoperíodo de 12 horas, foi observada uma redução em A/C_i aos 85 DAE (Figura 6E).

Para a cultivar TMG 91 WS3, aos 35 DAE, plantas sob luz natural apresentaram valores superiores aos observados nos fotoperíodos artificiais de 10, 12 e 16 horas, os quais não diferiram entre si (Figura 6F). Aos 85 DAE, os valores permaneceram estáveis nos ambientes com luz artificial, enquanto sob luz natural houve redução significativa da eficiência, embora ainda superior aos demais tratamentos. Não houve variação temporal significativa, dentro dos fotoperíodos artificiais, indicando que a eficiência de carboxilação foi mais sensível, ao tipo de luz, do que ao tempo de cultivo nesses ambientes.

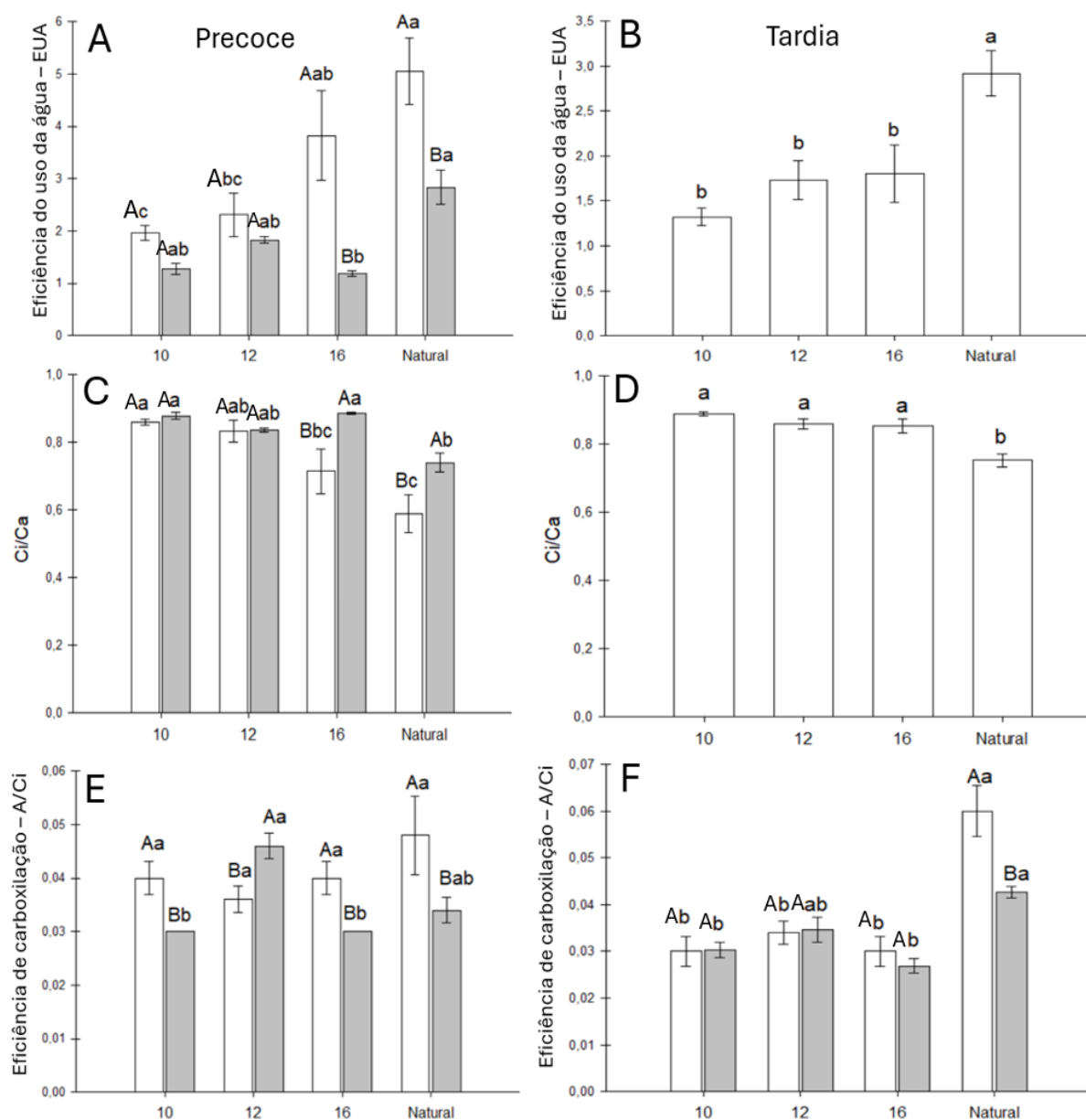


FIGURA 6 - Eficiência instantânea de uso de água, EUA ou A/E (A - B), relação entre a concentração interna e externa de CO_2 , Ci/Ca (C - D) e eficiência de carboxilação, A/Ci (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas). As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os fotoperíodos, e as médias com a mesma letra maiúscula não diferem dentro de cada período de avaliação, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão da média.

A variação no fotoperíodo influenciou o crescimento das plantas em ambas as cultivares. A altura das plantas foi maior sob luz natural em ambas as cultivares (Figuras 7A-B). Padrão semelhante foi observado para o diâmetro do caule (Figuras 7C-D). Em relação à área foliar, o fotoperíodo de 10 horas e a luz natural, se destacaram como as condições mais favoráveis, para ambas as cultivares (Figuras 7E-F).

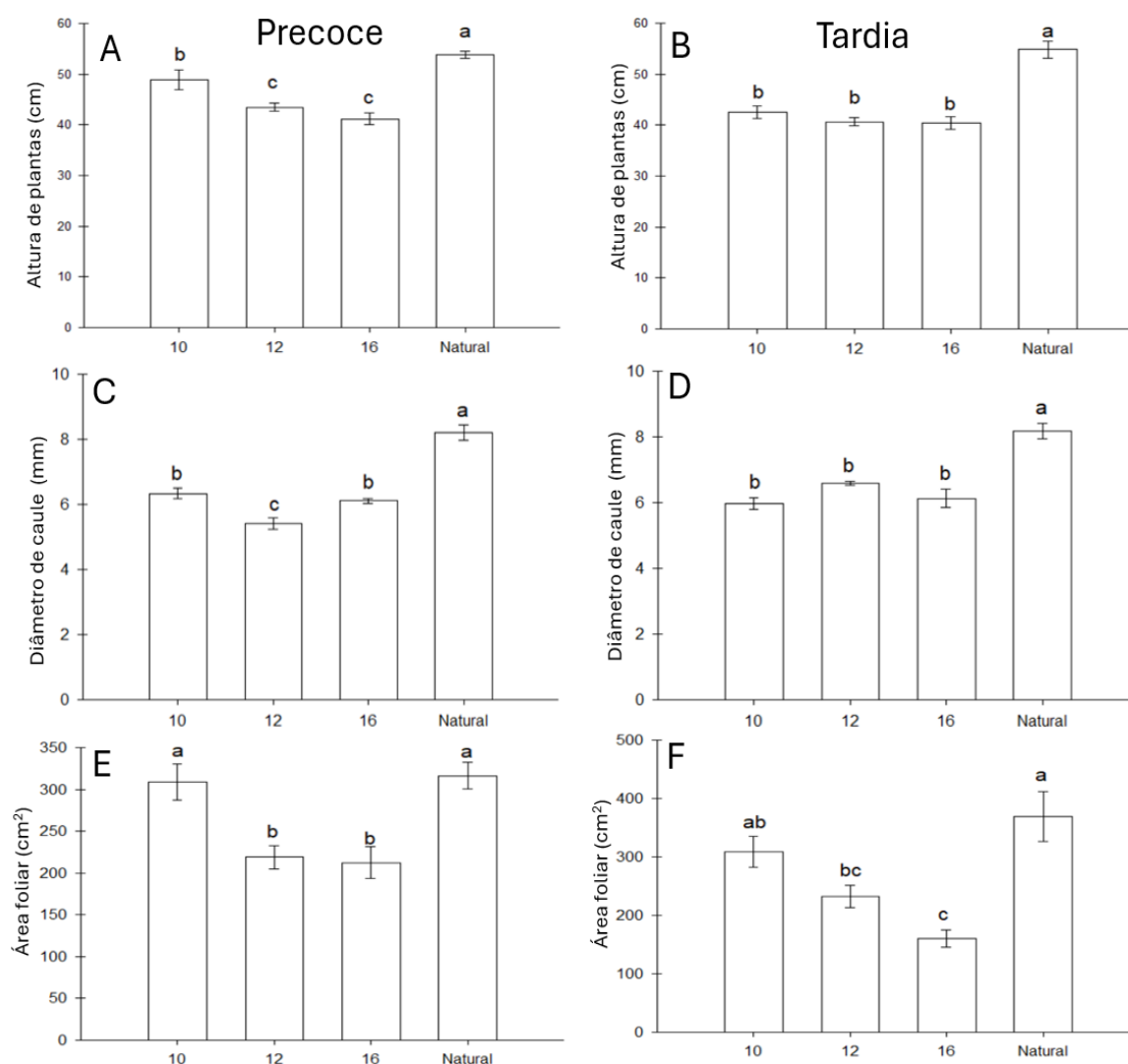


FIGURA 7 - Altura da planta (A - B), diâmetro do caule (C - D) e área foliar (E - F) em plantas de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (ciclo precoce) e TMG 91 WS3 (ciclo tardio), respectivamente, em função do fotoperíodo (horas). As médias seguidas pela mesma letra não diferem, de acordo com o teste de Tukey, com nível de probabilidade de 5%. As barras representam o erro padrão da média

A floração das cultivares de algodão TMG 33 B3RF e TMG 91WS3 foi influenciada pelo fotoperíodo aplicado (Figuras 8A e B). Na TMG 33 B3RF, sendo que a floração começou aos 73 DAE sob fotoperíodos de 10h e 12 h e aos 76 DAE em plantas expostas à luz natural. O período de maior floração ocorreu entre 76 e 83 DAE nesses tratamentos. No entanto, a exposição ao fotoperíodo de 16 h inibiu completamente a floração. Após 104 DAE, não houve a emissão de novas flores sob luz natural, enquanto sob fotoperíodos controlados de 10 e 12 horas, a floração continuou até 143 DAE.

Para a cultivar TMG 91WS3 (Figura 8B), a floração também começou aos 73 DAE sob fotoperíodos de 10h e 12 h, enquanto plantas expostas à luz natural e ao fotoperíodo de 16 h

iniciaram a floração aos 76 DAE. O período de maior floração ocorreu entre 76 e 83 DAE em todos os tratamentos. A floração cessou aos 104 DAE sob luz natural e aos 110 DAE sob fotoperíodo de 16 horas. No entanto, sob fotoperíodos de 10h e 12 h, a floração persistiu até 143 DAE, semelhante à cultivar TMG 33 B3RF.

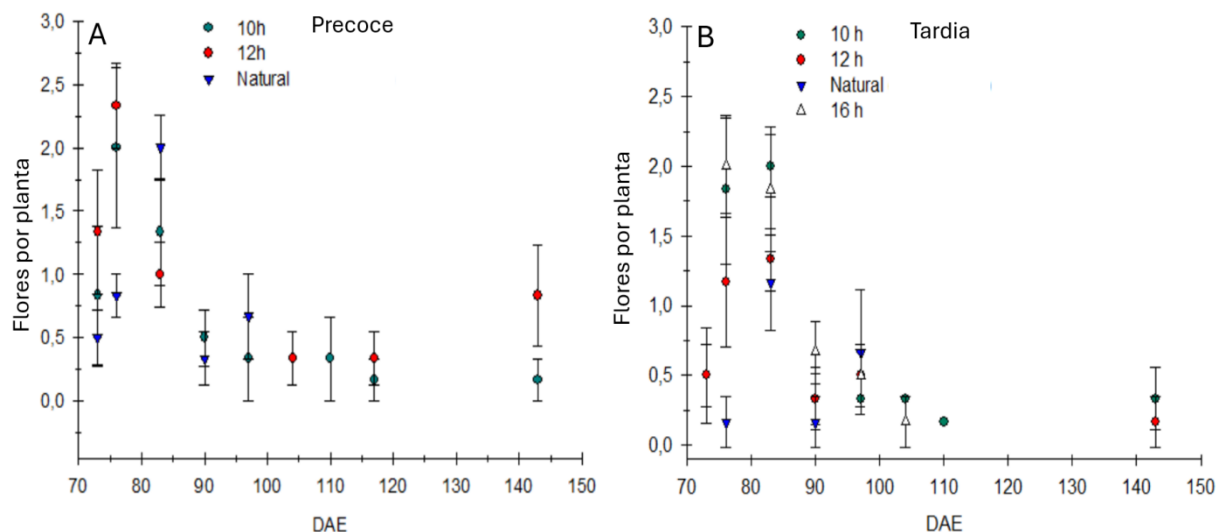
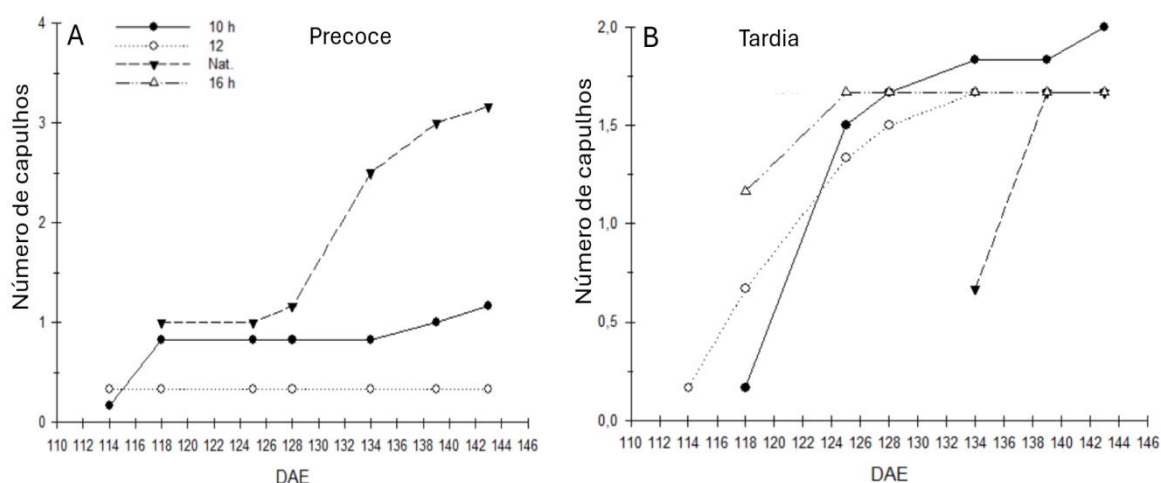


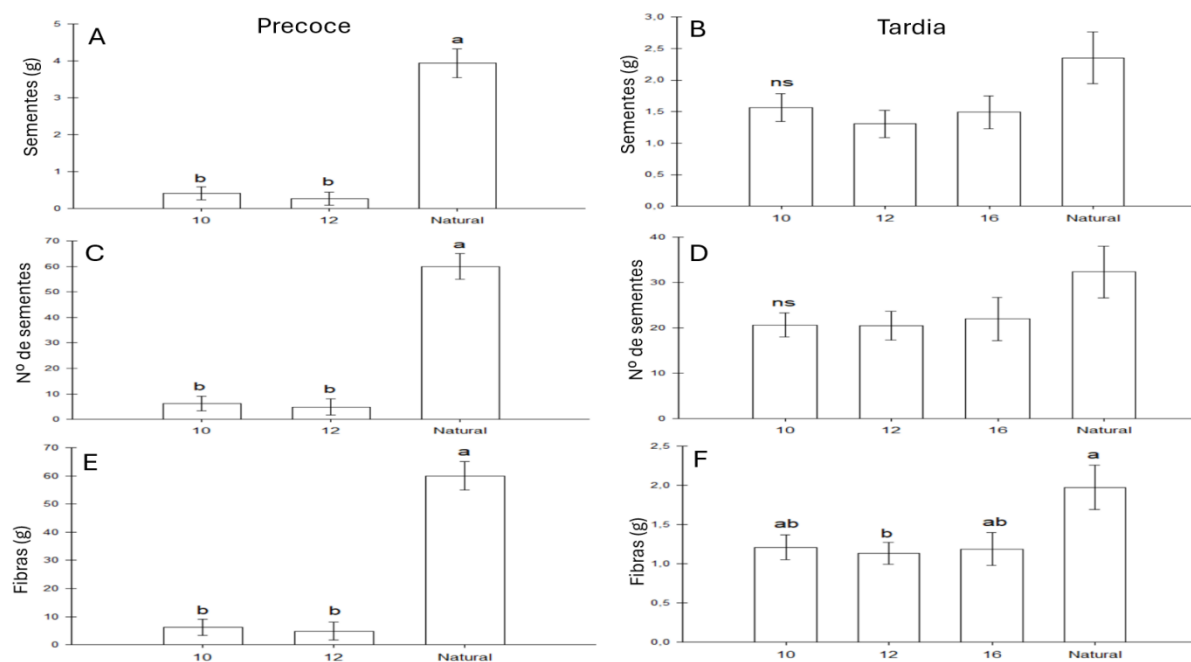
FIGURA 8 - Número de flores por planta em função dos dias de cultivo e do fotoperíodo nos cultivares de algodão TMG 33 B3RF (ciclo precoce - A) e TMG 91WS3 (ciclo tardio - B). As barras representam o erro padrão da média

Na Figura 9, a não emissão de flores para a cultivar TMG 33B3RF resultou em ausência de capulhos sob fotoperíodo de 16 horas. O fotoperíodo de 12h proporcionou média de apenas 0,33 maçãs por planta. Embora as plantas cultivadas na casa de vegetação sob luz natural tenham apresentado um atraso de aproximadamente 4 dias na abertura das maçãs em comparação com os outros tratamentos, sua produtividade final foi três vezes maior do que a observada sob fotoperíodo de 10 horas (Figura 9A).

Para a cultivar TMG 91WS3, as plantas cultivadas sob fotoperíodo de 12h abriram suas maçãs cerca de 4 dias antes das plantas cultivadas sob outras condições *indoor* (Figura 9B). Enquanto isso, as plantas sob luz natural apresentaram atraso de aproximadamente 20 dias, para abertura das maçãs, mas conseguiram atingir o mesmo nível de produtividade final.



Nas plantas TMG 33 B3RF, a massa de sementes, o número de sementes e a massa de fibras foram significativamente maiores sob luz natural (Figuras 10A, C e D). Em contrapartida, nas plantas TMG 91WS3, a única diferença observada entre as características avaliadas foi a maior massa de fibras, em plantas cultivadas sob luz natural, em comparação com aquelas submetidas ao fotoperíodo de 12h (Figura 10F).



O percentual de emergência das sementes de ciclo precoce foi inferior a 50%, em ambiente *indoor*, mas sob casa de vegetação se situou em 92% (Figura 11A). Para a cultivar tardia o ambiente *indoor* não afetou o percentual da emergência, não variando em relação àquelas sementes provenientes da casa de vegetação (Figura 11B).

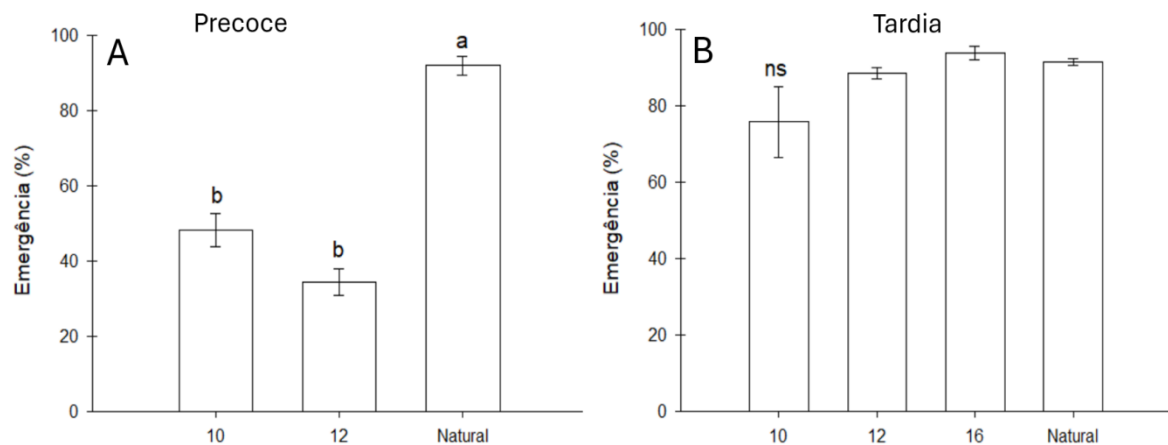


FIGURA 11 - Percentual de emergência de sementes de algodão dos cultivares TMG 33 B3RF (A) e TMG 91 WS3 (B) obtidas a partir de plantas submetidas a variação de fotoperíodo (horas). As médias seguidas pela mesma letra não diferem, de acordo com o teste de Tukey, com nível de probabilidade de 5%. ns = não significativo. As barras representam o erro padrão da média.

A Figura 12 mostra as características gerais das plantas aos 95 dias após a emergência. Um número reduzido de folhas (baixa área foliar, conforme evidenciado na Figura 7) e uma coloração avermelhada mais intensa foram observados em plantas expostas ao fotoperíodo de 16h (Figuras 12C e 12G), indicando maior presença de antocianinas, este padrão sugere um aumento no estresse da maquinaria fotossintética.

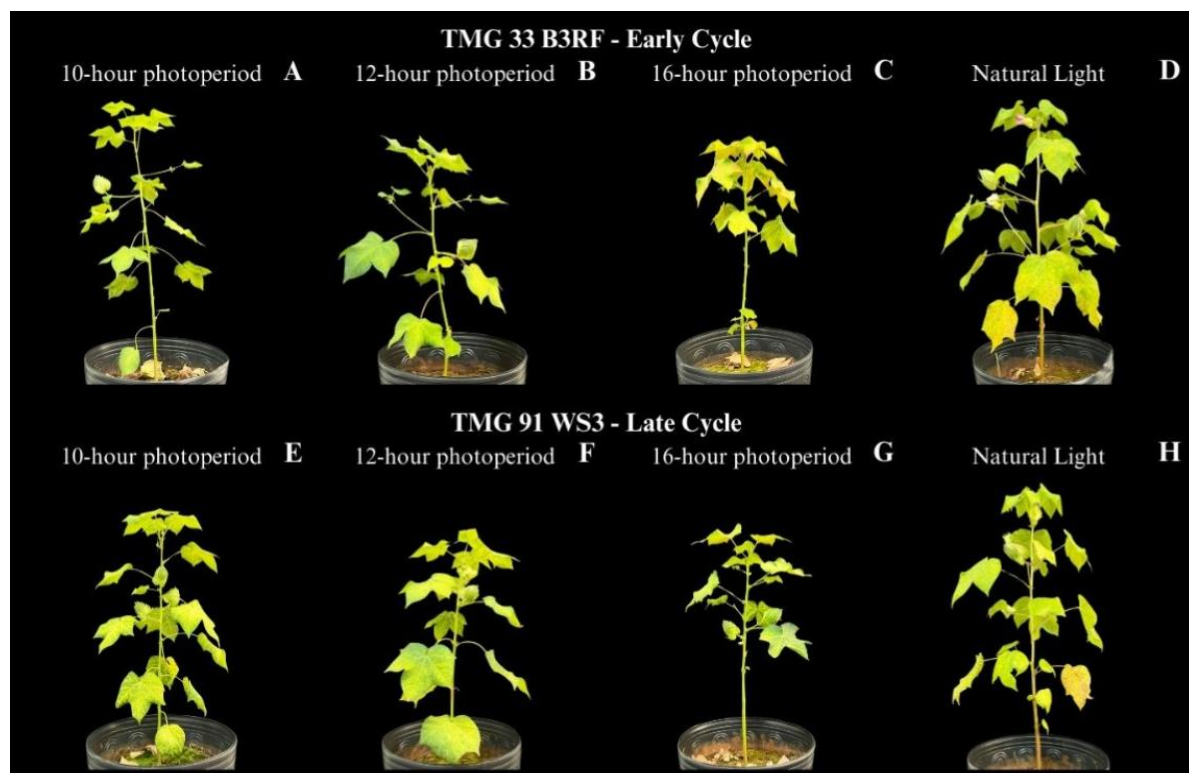


FIGURA 12 - A aparência visual das plantas dos cultivares TMG 33 B3RF (A - D) e TMG 91 WS3 (E - H) aos 95 dias após a emergência, sob 10h (A e E), 12h (B e F), 16h (C e G) e luz natural (D e H), respectivamente.

5 DISCUSSÃO

O cultivo de plantas em ambientes *indoor* permite a modificação das condições ambientais, como luz e temperatura, para melhorar o desempenho fotossintético e estimular a produção precoce (Rai, 2022). A intensidade luminosa desempenha um papel crucial no processo, pois níveis adequados de irradiância são necessários para atingir taxas máximas de fotossíntese. Embora o aumento da intensidade luminosa seja recomendado por especialistas em *Speed Breeding* (Chaudhary e Sandhu, 2024), neste estudo, o uso de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ao longo do fotoperíodo impôs estresse luminoso às plantas no ambiente *indoor*. Altos níveis de irradiância podem aumentar a taxa fotossintética e a absorção de água e nutrientes devido ao aumento da transpiração foliar e da fixação de CO_2 , resultando em maior acúmulo de biomassa (Ríos-Ríos et al., 2019). No entanto, o excesso de energia luminosa pode danificar ou inativar o fotossistema II (PSII), levando à fotoinibição (Sáez et al., 2016).

De acordo com Constable e Rawson (1980), a saturação luminosa no algodoeiro pode variar de 800 a 1100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por outro lado, Pinnamaneni et al. (2022) relataram pontos de saturação variando entre 2245 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 2411 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dependendo do regime de irrigação e do ano avaliado. Embora as plantas possam ter sido cultivadas dentro do ponto de saturação luminosa, o fato de isso ter ocorrido sob luz contínua (fixa) durante todo o fotoperíodo pode ter representado uma sobrecarga energética. Nesse contexto, considerando o acúmulo diário de luz, plantas sob fotoperíodos naturais receberam, em média, pouco mais de 13 $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ de DLI (*daily light integral*) (Figura 3C), enquanto aquelas sob fotoperíodos de 10h, 12h e 16h receberam 28,8 $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, 34,56 $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e 46,08 $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, respectivamente. Essa diferença entre os ambientes natural e *indoor* explica, em parte, a redução na concentração de clorofila e nos índices de eficiência fotoquímica, como F_v/F_0 e PI_{ABS} , no ambiente *indoor* durante a fase vegetativa em ambas as cultivares.

A menor intensidade luminosa na casa de vegetação (Figura 2) pode ter induzido um aumento na concentração de clorofila para otimizar a captura de luz. Em contraste, as maiores razões clorofila *a*/clorofila *b* observadas no ambiente *indoor*, caracterizado por alta intensidade luminosa, estão associadas a adaptações a ambientes com luz intensa. Nesses ambientes, há uma redução no tamanho dos complexos de antena associados ao PSII, resultando em um aumento na proporção de clorofila *a* em relação à clorofila *b*, pois a clorofila *b* está principalmente presente nesses complexos de captação de luz (Esteban et al., 2015). Além disso, essa adaptação ajuda a evitar danos causados pela fotoinibição, em condições de alta intensidade luminosa (Simkin et al., 2022).

A evidência do estresse luminoso ocasionado pela alta intensidade luminosa é evidenciada pelos resultados obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a*. Os índices de rendimento fotoquímico F_v/F_0 , ϕP_0 , Ψ_0 , ϕE_0 , e, consequentemente, o índice de desempenho fotoquímico do PSII (PI_{ABS}), foram mais baixos em ambiente *indoor* (alta saturação luminosa) em relação a casa de vegetação (baixa saturação luminosa) para ambas as cultivares. No ambiente *indoor*, houve um aumento nos índices médios relacionados à menor capacidade operacional fotoquímica do PSII, como uma maior taxa de fechamento do PSII e maior fluxo de energia por centro de reação (ABS/RC). Esse aumento em ABS/RC indica que menos centros de reação se encontram funcionais, resultando em uma sobrecarga nos centros de reação restantes (Kumar et al., 2020), o que leva a um aumento nos índices relacionados à dissipação de energia na forma de calor (ϕD_0 e Di_0/RC). Aos 85 DAE, a maioria dos índices se estabilizou, reforçando a plasticidade típica do algodão (Silva et al., 2024).

Nas plantas da cultivar TMG 33 B3RF, a taxa fotossintética não apresentou variação, mas foram observadas mudanças na condutância estomática. O ambiente da casa de vegetação facilitou uma melhor regulação estomática, evidenciada pela menor condutância estomática e consequente redução da transpiração, levando a uma maior eficiência do uso da água. A baixa razão C_i/C_a nas plantas da casa de vegetação em relação ao ambiente *indoor* está relacionada à menor condutância. Apesar da menor razão C_i/C_a nas plantas sob casa de vegetação comparada ao *indoor*, a ausência de estresse luminoso permitiu uma maior eficiência de carboxilação para cultivar TMG 91 WS3. No ambiente *indoor*, a menor condutância estomática observada aos 35 DAE para as plantas sob fotoperíodo de 16 horas indica que o estresse luminoso resultou na redução da abertura estomática. No entanto, devido à plasticidade da planta, a condutância estomática aumentou durante a fase reprodutiva. Na cultivar TMG 91 WS3, as respostas foram semelhantes às observadas na TMG 33 B3RF, mas apresentaram maior uniformidade ao longo do ciclo de crescimento, possivelmente devido ao seu ciclo mais longo.

O desempenho fotossintético superior das plantas sob luz natural, em comparação ao cultivo em ambiente *indoor*, pode ser atribuído à qualidade e intensidade da luz, bem como, às condições ambientais dinâmicas da casa de vegetação, incluindo temperatura e umidade relativa. Esses fatores promovem ajustes fisiológicos, como transpiração e condutância estomática. Sob luz natural, as plantas recebem um espectro completo de radiação, o que não apenas melhora a fotossíntese, mas também, desempenha um papel crucial na modulação hormonal e no desenvolvimento morfofisiológico. Em contrapartida, ambiente *indoor*, mesmo com lâmpadas LED de amplo espectro, apresenta limitações na reprodução exata dessas características (Ouzounis et al., 2015; Bugbee, 2016). A amplitude térmica na casa de vegetação foi maior do que no ambiente *indoor*, o que pode ter contribuído para uma maior capacidade de escapar do estresse térmico, à medida que a temperatura diminuía ao longo do dia.

No ambiente *indoor*, a baixa amplitude térmica diária, combinada com as altas temperaturas registradas entre 50 e 90 DAE (Figura 1), resultou em um acúmulo relativamente rápido de graus-dia, uma métrica importante para quantificar a energia disponível, para o metabolismo e desenvolvimento das plantas (Ometto, 1981; Echer; Rosolem, 2022). Embora esse acúmulo não tenha levado a uma aceleração substancial da floração entre as cultivares e fotoperíodos testados, favoreceu a antecipação da formação das maçãs do algodão. Por outro lado, pode ter contribuído para o aumento das taxas de respiração e fotorrespiração, reduzindo o potencial produtivo.

Além de reduzir a produção, o estresse em plantas de ciclo precoce cultivadas em ambiente *indoor* comprometeu a qualidade das sementes. O breve período disponível para que

as plantas apresentassem resiliência e capacidade de recuperação diminuiu drasticamente, com o percentual de emergência (Figura 11A). Consequentemente, sementes geradas sob estresse ambiental tendem a apresentar taxas de germinação inferiores, pois o estresse pode: prejudicar a formação das reservas nutricionais, afetar a integridade celular e desregular o equilíbrio hormonal, fatores cruciais para uma germinação eficiente (Bewley et al., 2013). Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de estudos específicos para cada genótipo, de modo a otimizar o manejo da luminosidade como estratégia alternativa no Speed Breeding.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados destacam o potencial do manejo da luz, particularmente do fotoperíodo, para acelerar o ciclo produtivo e aprimorar o *Speed Breeding*. A cultivar tardia TMG 91 WS3 se destacou por antecipar a floração no ambiente indoor, mantendo uma produtividade final semelhante em relação a sob luz natural. Já a TMG 33 B3RF demonstrou maior sensibilidade a fotoperíodos prolongados, como 16 horas, que inibiram completamente sua floração, bem como, teve a qualidade de suas sementes afetadas em fotoperíodo controlado.

Os resultados obtidos reforçam que, embora o ambiente controlado possua potencial como ferramenta no contexto do SB, seu uso no algodão depende de ajustes rigorosos: na intensidade luminosa, no espectro e no regime de fotoperíodo, bem como, na avaliação prévia da resposta de cada genótipo. Assim, o manejo da luz deve ser visto não como solução universal, mas como, estratégia a ser calibrada cuidadosamente, capaz de oferecer ganhos para determinadas cultivares, mas que pode impor restrições severas a outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (Abrapa). **Relatório de safra: setembro de 2024**. Brasília, DF: Abrapa, 2024. Disponível em: <https://abrapa.com.br/wp-content/uploads/2024/09/Relatorio-de-Safra-%E2%80%93-setembro-de-2024.pdf>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ATLIN, G. N.; CAIRNS, J. E.; DAS, B. Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. **Global Food Security**, v.12, p.31-37, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.008>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

BHATTA, M. et.al. Need for speed: manipulating plant growth to accelerate breeding cycles. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 60:101986. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.101986>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 4ª ed. Nova York: Springer, 2013.

BUGBEE, B. Toward an optimal spectral quality for plant growth and development: the importance of radiation capture. **Acta Horticulturae**, (1134), p.1-12, 2016. Disponível em: <https://doi:10.17660/ActaHortic.2016.1134.1>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

BURKE, J. J., & WANJURA, D. F. Plant responses to temperature extremes. In J. M. Stewart, D. M. Oosterhuis, J. J. Heitholt, & J. R. Mauney (Eds.), **Physiology of cotton** (pp. 123–128), 2010. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-3195-2_12. Acesso em: 08 de maio de 2023.

CAI, D.; LIU, H.; SANG, N.; HUANG, X. Identification and characterization of CONSTANS-like (COL) gene family in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **PLoS One**, v.12, e0179038, 2017. Disponível em: <https://doi:10.1371/journal.pone.0179038>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ĆERAN, M. et. al. Genomics-assisted speed breeding for crop improvement: present and future. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.8, 1383302, 2024. Disponível em: <https://doi:10.3389/fsufs.2024.1383302>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

CHAUDHARY, N.; SANDHU, R. A comprehensive review on speed breeding methods and applications. **Euphytica**, v.220, p.42, 2024. Disponível em: <https://doi:10.1007/s10681-024-03300-x>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

CONAB. Tabela de dados – Produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Conab: Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF, safra 2022/23, n.7, sétimo levantamento, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

CONSTABLE, G. A.; RAWSON, H. M. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency in cotton. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.7, n.7, p.89-100, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/PP9800089>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Fisiologia aplicada ao manejo do algodoeiro. Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2022. Disponível em: https://imamt.org.br/wp-content/uploads/2022/02/boletim_fisiologia_2022_VF_WEB.pdf. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Cotton leaf gas exchange responses to irradiance and leaf aging. **Biologia Plantarum**, v. 59, p. 366-372, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0484-3>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ESTEBAN, R. et. al. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. **New Phytologist**, v.206, n.1, p.268-280, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.13186>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

GENDRON, J. M.; STAIGER, D. New horizons in plant photoperiodism. **Annual Review of Plant Biology**, v.74, n.1, p.481-509, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-055628>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

GHOSH, S. et. al. Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. **Nature Protocols**, v.13, p.2944–2963, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0072-z>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. **Agronomy Journal**, v.3, p.477-479, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100030048x>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

GUO, D.; LI, C.; DONG, R.; LI, X.; XIAO, X.; HUANG, X. Molecular cloning and functional analysis of the FLOWERING LOCUS T (FT) homolog GhFT1 from *Gossypium hirsutum*. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.57, p.522-533, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jipb.12316>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

HAO, P.; WU, A.; CHEN, P.; WANG, H.; MA, L.; WEI, H.; YU, S. GhLUX1 and GhELF3 are two components of the circadian clock that regulate flowering time of *Gossypium hirsutum*. **Frontiers in Plant Science**, v.12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.691489>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

HARRISON, D. et. al. Effect of light wavelength on soybean growth and development in a context of speed breeding. **Crop Science**, v. 61, 917–928, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.20327>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

HICKEY, L. T. et. al. Grain dormancy in fixed lines of white-grained wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under controlled environmental conditions. **Euphytica**, 168 (3). pp. 303-310, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9929-0>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SLPSA – Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

JÄHNE, F. et. al, Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. **Theoretical and Applied Genetics**, v.133, n.8, p.2335-2342, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1007/s00122-020-03601-4>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

KHAN, Z. et. al. Genome editing in cotton: challenges and opportunities. **Journal of Cotton Research**, v.6, n.1, p.3, 2023. Disponível em: <https://doi:10.1186/s42397-023-00140-3>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

KUMAR, D. et. al. Chlorophyll *a* fluorescence kinetics of mung bean (*Vigna radiata* L.) grown under artificial continuous light. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v.24, 100813, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.bbrep.2020.10081>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

OSNATO, M. et. al. Photoperiod control of plant growth: flowering time genes beyond flowering. **Frontiers in Plant Science**, v.12, 2022. Disponível em: <https://doi:10.3389/fpls.2021.805635>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

PINNAMANENI, S. R. et. al. Photosynthetic response of soybean and cotton to different irrigation regimes and planting geometries. **Frontiers in Plant Science**, v.13, 2022. Disponível em: <https://doi:10.3389/fpls.2022.894706>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

POKHILKO, A. et. al. The clock gene circuit in Arabidopsis includes a repressilator with additional feedback loops. **Molecular Systems Biology**, v.8, p.574, 2012. Disponível em: <https://doi:10.1038/msb.2012.6>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

RAI, K. K. Integrating speed breeding with artificial intelligence for developing climate-smart crops. **Molecular Biology Reports**, 2022. Disponível em: <https://doi:10.1007/s11033-022-07769-4>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

RÍOS-RÍOS, A. M. et. al. Micropropagation of Piper crassinervium: an improved protocol for faster growth and augmented production of phenolic compounds. **Plant Cell, Tissue Organ Cult.**, 2019. Disponível em: <https://doi:10.1007/s11240-019-01585-8>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ROCHA-MUNIVE, M. G. et. al. Evaluation of the impact of genetically modified cotton after 20 years of cultivation in Mexico. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v.6, p.82, 2018. Disponível em: <https://doi:10.3389/fbioe.2018.00082>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

ROWELL, T. et. al. Continuous daily light period and temperature influence peanut yield in nutrient film technique. **Crop Science**, v.39, p.1111-1114, 1999. Disponível em: <https://doi:10.2135/cropsci1999.0011183X003900040026x>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

SÁEZ, P. L.; BRAVO, L. A.; SÁNCHEZ-OLATE, M.; BRAVO, P. B.; RÍOS, D. G. Effect of photon flux density and exogenous sucrose on the photosynthetic performance during *in vitro* culture of *Castanea sativa*. **Am J Plant Sci.**, v.7, p.2087-2105, 2016. Disponível em: <https://doi:10.4236/ajps.2016.714187>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4th ed. Belmont, California: Wadsworth, 1991.

SAMINENI, S. et. al. Rapid generation advance (RGA) in chickpea to produce up to seven generations per year and enable speed breeding. **The Crop Journal**, v.8, p.164-169, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.cj.2019.08.003>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

SILVA, R. A. et. al. **Ecofisiologia do algodoeiro: Participação hormonal na adaptação aos estresses abióticos**, São Paulo: Autografia, 2024.

SIMKIN, A. J. et. al. The role of photosynthesis-related pigments in light harvesting, photoprotection, and enhancement of photosynthetic yield in planta. **Photosynthesis Research**, v.152, n.1, p.23-42, 2022. Disponível em: <https://doi:10.1007/s11120-021-00892-6>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

STRASSER, R. J. **The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples**. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. (Eds.) Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation. London: Taylor and Francis, 2000, p.445-483. Disponível em: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:177144>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. **Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient**. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (Eds.) Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004, p.321-362. Disponível em: https://doi:10.1007/978-1-4020-3218-9_12. Acesso em: 08 de maio de 2023.

TIWARI, S.; KOUL, B. **Genetic Engineering of Crop Plants for Food and Health Security**. Springer, 2023.

UMBURANAS, R. **Importância do desenvolvimento de cultivares de algodão**. BASF, 2020. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-esementes/algodao/importancia-do-desenvolvimento-de-cultivares-dealgodao.html>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. (2025). *Cotton – Production*. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2631000>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

WANGA, M. A.; SHIMELIS, H.; MASHILO, J.; LAING, M. D. Opportunities and challenges of speed breeding: a review. **Plant Breeding**, v.140, p.185-194, 2021. Disponível em: <https://doi:10.1111/pbr.12909>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

WATSON, A. et. al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature Plants**, v. 4, p. 23–29. 2018. Disponível em: <https://doi:10.1038/s41477-017-0083-8>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

WENDEL, J., AND GROVER, C. Taxonomy and evolution of the cotton genus, gossypium,” in ***Cotton***, vol. 57, 2nd edn. eds. D. D. Fang and R. G. Percy (Guilford Road, USA: Wiley, John Wiley & Sons, Inc), 25–44, 2015. Disponível em: [https:// doi: 10.2134/agronmonogr57.2013.0020](https://doi.org/10.2134/agronmonogr57.2013.0020) Acesso em: 08 de maio de 2023.

WICKRAMASINGHE, K. P. et. al. Photoperiodic and lighting treatments for flowering control and its genetic regulation in sugarcane breeding. **Heliyon**, 2024. Disponível em: [https://doi:10.1016/j.heli](https://doi.org/10.1016/j.heli.2024.101616). Acesso em: 08 de maio de 2023.