

TROCAS GASOSAS EM GENÓTIPOS DE ALGODÃO SUBMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO NA FASE DE FLORESCIMENTO

Raires Liliane de Oliveira Cruz¹, Mirraelly de Sousa Inocencio Ferreira², Pedro Dantas Fernandes³, Francisco de Assis da Silva⁴, José Jaime de Vasconcelos Cavalcanti⁵, Roseane Cavalcanti dos Santos⁶

RESUMO: O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de elevada relevância socioeconômica, destacando-se pela produção de fibras e subprodutos do caroço. Entretanto, sua produtividade pode ser severamente comprometida pelo déficit hídrico, especialmente em regiões semiáridas e durante a fase de florescimento, período crítico pela elevada demanda hídrica e sensibilidade fisiológica. Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar a resposta fisiológica de seis genótipos de algodoeiro de fibra branca submetidos ao déficit hídrico durante a fase de florescimento. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Embrapa Algodão, em Campina Grande-PB, em delineamento de blocos casualizados, em parcelas subdivididas (2 × 6), com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por duas condições hídricas (controle e déficit) e seis genótipos (CNPA SA 2019-109 - G1, CNPA SA 2019-115 - G2, CNPA SA 2019-165 - G3, CNPA SA 2019-204 - G4, BRS 286 - G5 e FM 966 - G6). Avaliou-se a condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (C_i), taxa de assimilação de CO₂ (A) e eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i). O déficit hídrico imposto por 21 dias reduziu significativamente todas as variáveis de trocas gasosas, sendo G2 e G5 os mais tolerantes, mantendo maiores valores de g_s , E e A , enquanto G4 apresentou maior sensibilidade, com reduções acentuadas em todas as variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Ecofisiologia, estresse abiótico, tolerância à seca.

¹ Agroecóloga, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande – PB. Bolsista CAPES fone: (83) 99675-6150, e-mail: rairescrux@gmail.com;

² Engenheira Agrônoma, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande – PB. Bolsista CAPES;

³ Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Prof. Voluntário da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande-PB;

⁴ Dr. em Engenharia Agrícola, Prof. da Universidade Federal do Oeste do Pará, UFOPA, Pará – PA

⁵ Dr. em Biologia Molecular, Pesquisador Sênior da Embrapa-Algodão, Campina Grande -PB;

⁶ Dra. em Biologia Molecular, Pesquisadora Sênior da Embrapa-Algodão, Campina Grande-PB;

GAS EXCHANGE IN COTTON GENOTYPES SUBJECTED TO WATER DEFICIT DURING THE FLOWERING STAGE

ABSTRACT: Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is a crop of considerable socioeconomic importance, primarily due to its fiber and seed by-products. Its productivity, however, can be severely limited by water deficit, particularly in semi-arid regions during flowering, a critical stage characterized by high water demand and physiological sensitivity. This study aimed to evaluate the physiological responses of six white fiber cotton genotypes subjected to water deficit during flowering. The experiment was conducted in a protected environment at Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, using a randomized complete block design with split plots (2×6) and four replications. Treatments included two water regimes (control and deficit) and six genotypes (CNPA SA 2019-109 – G1, CNPA SA 2019-115 – G2, CNPA SA 2019-165 – G3, CNPA SA 2019-204 – G4, BRS 286 – G5, and FM 966 – G6). Stomatal conductance (g_s), transpiration (E), internal CO₂ concentration (C_i), CO₂ assimilation rate (A), and instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i) were evaluated. The 21-day water deficit significantly reduced all gas exchange parameters, with G2 and G5 showing greater tolerance by maintaining higher g_s , E , and A values, whereas G4 exhibited higher sensitivity, with marked reductions across all variables.

KEYWORDS: Ecophysiology, abiotic stress, drought tolerance.

INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de expressiva importância econômica, com destaque para a produção de fibras e derivados do caroço, como óleo e biodiesel. O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais com uma produção de algodão em caroço de 7,7 milhões de toneladas na safra 2023/24 (IBGE, 2024), com forte presença nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Já a produção de algodão em pluma se encontra em torno de 3,15 milhões de toneladas na safra 2023/24 (CONAB, 2024).

A limitação hídrica, seja em períodos de seca, veranicos na estação chuvosa ou altas taxas de evapotranspiração, afeta diretamente o desempenho fisiológico das plantas, inibindo processos vitais como a condutância estomática, transpiração e fotossíntese, impactando o desenvolvimento e a produtividade. A fase de florescimento é particularmente sensível ao déficit hídrico devido à alta demanda por assimilados e à importância da manutenção do aparato

fotossintético para o pegamento e enchimento das maçãs (Silva et al., 2023). Essa condição pode desencadear a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs), levando a danos celulares e redução da eficiência fotossintética (Yang et al., 2021; Wang et al., 2023).

Parâmetros como condutância estomática, transpiração, assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂ são indicadores-chave da resposta das plantas ao déficit hídrico. Estudos realizados no florescimento mostram que o déficit nessa fase crítica ocasiona reduções nessas variáveis fisiológicas e no crescimento (Soares et al., 2023), além de afetar a produtividade final da cultura (Bezerra et al., 2018). A identificação de genótipos que mantenham desempenho fisiológico sob tais condições é estratégica para programas de melhoramento e para o manejo sustentável em regiões semiáridas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a resposta fisiológica de seis genótipos de algodoeiro de fibra branca sob déficit hídrico na fase de florescimento, visando contribuir para a seleção de cultivares adaptadas a ambientes com disponibilidade irregular de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Embrapa Algodão, localizada no município de Campina Grande, PB, Brasil (07° 13' 50" S, 35° 52' 31" W, altitude 550 m), em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas 2 × 6, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As parcelas corresponderam à duas condições hídricas: irrigação plena, com reposição diária de 100% da capacidade de campo durante todo o ciclo, e restrição hídrica durante a fase de florescimento, iniciada quando 80% do stand das plantas apresentaram o primeiro botão floral, sendo a restrição hídrica mantida por 21 dias, com posterior retomada da irrigação plena. As subparcelas correspondem aos seis genótipos de algodoeiro de fibra branca CNPA SA 2019-109 (G1), CNPA SA 2019-115 (G2), CNPA SA 2019-165 (G3), CNPA SA 2019-204 (G4), BRS 286 (G5) e FM 966 (G6).

Cada unidade experimental foi composta por cinco plantas úteis, totalizando 240 plantas cultivadas diretamente no solo e irrigadas por fitas gotejadoras com vazão nominal de 1,5 L h⁻¹. A adubação foi realizada em duas etapas: a primeira aos 30 dias após a semeadura, antes do início da restrição hídrica, e a segunda ao término do período de estresse, utilizando-se ureia, fosfato monoamônico (MAP) e cloreto de potássio (KCl) como fontes de nitrogênio, fósforo e

potássio, respectivamente, de acordo com recomendações do boletim para o estado de Pernambuco (Cavalcanti., 1998).

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas aos 21 dias após o início da restrição hídrica, no horário entre 7h e 10h da manhã, utilizando um analisador portátil de gás infravermelho (IRGA, modelo 31 LC-Pro, ADC BioScientific Ltd., Reino Unido), com fonte artificial de radiação de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foram obtidos dados de condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). A eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]) foi calculada conforme Konrad et al. (2005) e Magalhães Filho et al. (2008).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o software Sisvar versão 5.8 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) revelou efeito significativo ($p \leq 0,01$) da condição hídrica (CH) sobre todas as variáveis. O fator genótipo (G) influenciou condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i) e eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i), mas não a taxa de assimilação de CO_2 (A). A interação $G \times CH$ foi significativa ($p \leq 0,05$) para C_i e A .

Tabela 1. Resumo da análise de variância para condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de assimilação de CO_2 (A) e eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i) em seis genótipos de algodoeiro sob duas condições hídricas.

FV	GL	Quadrados médios				
		g_s	E	C_i	A	A/C_i
Genótipo (G)	5	0,0055**	0,6416*	1410,6**	2,136ns	0,0002*
C. Hídrica (CH)	1	0,5918**	150,23**	11470,0**	1105,72 **	0,013**
Int. G x CH	5	0,0017ns	0,1931ns	666,63*	7,984*	0,0002ns
Bloco	3	0,0012ns	0,2801ns	162,47ns	1,903ns	0,00007ns
Erro	33	0,0009	0,2565	226,06	2,844	0,00008
Cv (%)		12,51	12,56	6,97	10,20	12,0

ns = não significativo; * = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$.

A condutância estomática (g_s) e a transpiração (E) foram influenciados de forma isolada pelos fatores genótipo e condição hídrica (Figura 1). Os algodoeiros CNPA 2019-115 AS (G2) e BRS 286 (G5) obtiveram maiores médias de g_s , diferindo estatisticamente dos genótipos CNPA SA 2019-109 (G1) e CNPA SA 2019-165 (G3) (Figura 1A). Considerando o efeito da condição hídrica (Figura 1B), o déficit imposto por 21 dias reduziu a g_s em 63,8% em relação ao controle, evidenciando o fechamento parcial dos estômatos como mecanismo para reduzir a perda de água (Taiz et al., 2017). Essa redução na abertura estomática refletiu diretamente na taxa de transpiração, que também foi influenciada isoladamente pelos fatores (Figura 1C-D), sendo observado em BRS 286 (G5) a maior taxa transpiratória ($4,4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) diferindo estatisticamente do CNPA SA 2019-109 (G1) que obteve a menor transpiração ($3,63 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 1C). O estresse hídrico reduziu a E em 60,9% em comparação ao controle (Figura 1D), padrão observado para ambas as variáveis e que caracteriza a resposta fisiológica típica de plantas sob restrição hídrica nesta fase fenológica crítica (Cordão et al., 2018). A redução simultânea de g_s e E reflete o fechamento estomático como mecanismo primário de resposta à limitação hídrica, o que, embora reduza a perda de água, também limita a assimilação de carbono (Zhang et al., 2017).

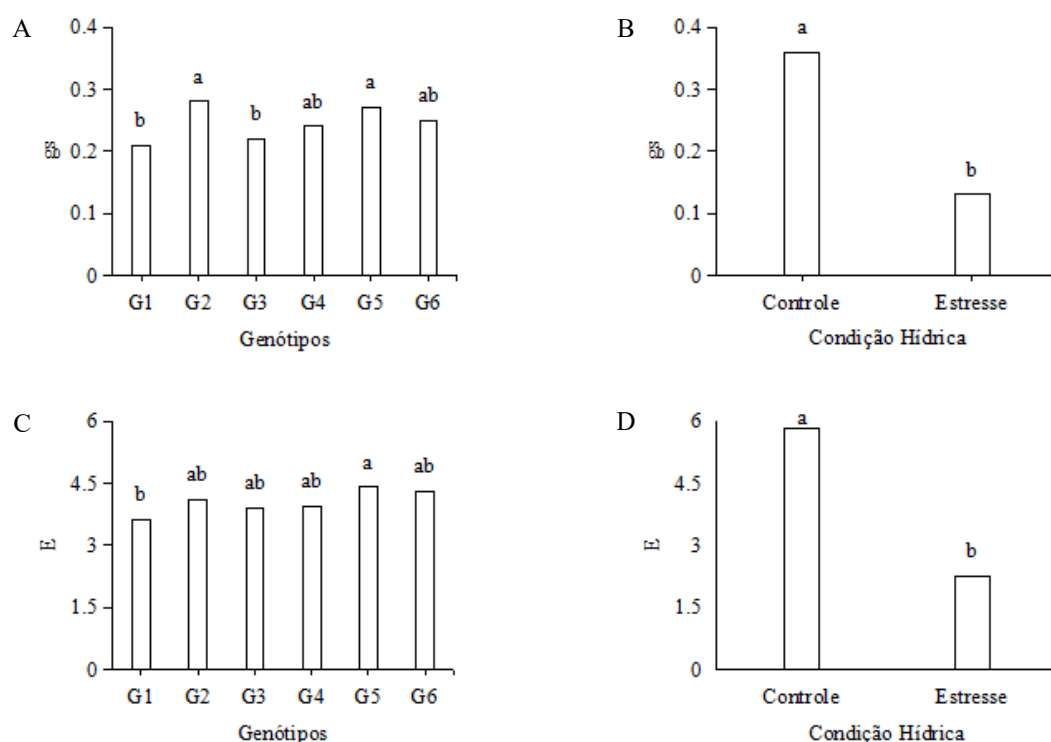


Figura 1. Condutância estomática (g_s , mol m⁻² s⁻¹) (A e B) e transpiração (E , mmol H₂O m⁻² s⁻¹) (C e D), em função do genótipo e da condição hídrica. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A concentração interna de CO₂ (C_i) apresentou interação significativa entre G e CH (Tabela 1). De maneira geral, o déficit hídrico reduziu a C_i em todos os genótipos, exceto em G5, no qual não houve diferença estatística entre controle e estresse. As maiores reduções foram observadas nos genótipos G1 (20,42%) e G3 (18,9%). Essa redução pode indicar uma limitação estomática mais acentuada nesses genótipos, restringindo a entrada de CO₂ no mesófilo foliar (Taiz et al., 2017; Soares et al., 2023), em contrapartida, a estabilidade em G5 pode estar associada a um equilíbrio entre abertura estomática e assimilação, mantendo o fluxo interno de carbono mesmo sob estresse. A taxa de assimilação de CO₂ (A) também apresentou interação significativa (Tabela 1). Todos os genótipos reduziram A sob déficit, mas a magnitude da redução variou. G4 (CNPA SA 2019-204) foi o mais sensível, com decréscimo de 55,86%. Essa redução está associada tanto ao fechamento estomático, limitando a entrada de CO₂, quanto a possíveis restrições metabólicas no ciclo de Calvin (Chaves et al., 2009). Genótipos que mantiveram valores mais elevados de A (G2 e G5) provavelmente apresentam mecanismos fotossintéticos mais eficientes sob estresse.

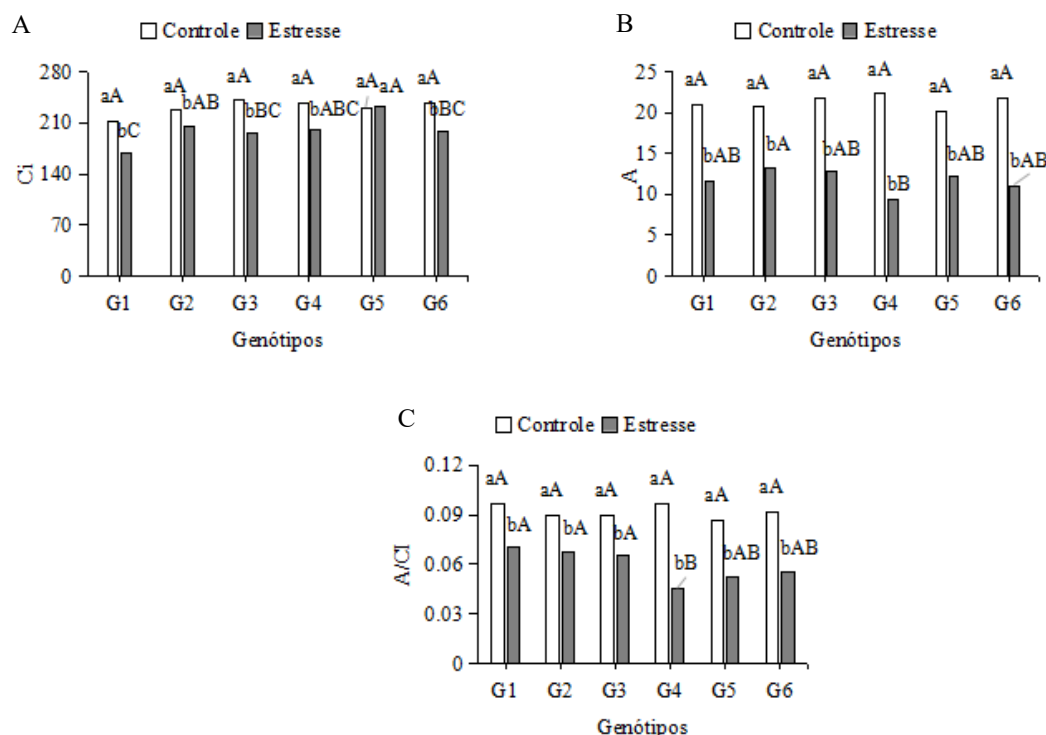


Figura 2. Desdobramento da interação entre genótipos e condição hídrica para concentração interna de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) (A), taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (B) e eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i) (C). Letras minúsculas iguais indicam que não há diferença significativa entre as condições hídricas. Da mesma forma, letras maiúsculas iguais indicam que não há diferença significativa entre os genótipos (Tukey $p \leq 0,05$).

A eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i) foi influenciada isoladamente por G e CH (Figura 2C). Sob déficit, os genótipos G1, G2 e G3, apresentaram reduções menos severas com

reduções de 27%, 25% e 27% respectivamente, podendo ser mais eficientes sob estresse. Já o G4 sofreu queda de 53,6%, corroborando sua menor tolerância fisiológica, sendo considerado o mais sensível ao estresse hídrico. A queda dessa variável indica menor capacidade de fixação de CO₂ por unidade disponível no mesófilo, possivelmente devido a alterações no aparato bioquímico, como atividade reduzida da Rubisco e fotoinibição (Flexas et al., 2004).

CONCLUSÕES

A restrição hídrica durante a fase de florescimento promoveu reduções significativas em todas as variáveis de trocas gasosas, embora a magnitude dessas reduções tenha variado entre genótipos. Os algodoeiros CNPA 2019-115 AS (G2) e BRS 286 (G5) destacaram-se pela manutenção relativa de *g_s*, *E* e *A*, sugerindo maior capacidade fotossintética e maior tolerância a condições de estresse, enquanto G4 apresentou o pior desempenho, com reduções acentuadas em todas as variáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZERRA, JRC et al. **Produtividade de genótipos de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas**. 2018.
- CAVALCANTI, Francisco José de Albuquerque. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 1998.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 12º levantamento - safra 2023/24. 2024.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

CORDÃO, Mailson Araujo et al. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 313-321, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p.529-535, 2019.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, n. 3, p. 269–279, 2004.

IBGE - Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2024. **Levantamento sistemático da produção agrícola [online].** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7832#resultado>>.

KONRAD, m. L. F. et al. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio.** *Bragantia*, v.64, p.339-347, 2005.

MAGALHÃES Filho, j. R.; AMARAL, l. R.; MACHADO, d. F. S. P.; MEDINA, c. L.; MACHADO, e. C. **Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira ‘valência’ sobre dois tipos de porta-enxerto.** *Bragantia*, v.67, p.75-82, 2008.

SILVA, F. A. et al. Pyruvic acid as attenuator of water déficit in cotton plants varying the phenological stage. **Brazilian journal of biology**, v. 83, p. E272003, 2023.

SOARES, Lauriane A. dos A. et al. Gas exchange, growth, and production of cotton genotypes under water deficit in phenological stages. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 145-157, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. Ed. Porto alegre: Artmed, p.858. 2017.

WANG, Mei et al., Enhancing cold and drought tolerance in cotton: A protective role of sikcor413pm1. **Bmc plant biology**, v. 23, p. 577, 2023.

YANG, Nan et al. Emergent bacterial community properties induce enhanced drought tolerance in arabidopsis. **Npj biofilms and microbiomes**, v. 7, p. 82, 2021.

ZHANG, He et al. Soil water and salt affect cotton (*Gossypium hirsutum* L.) photosynthesis, yield and fiber quality in coastal saline soil. **Agricultural Water Management**, v. 187, p. 112-121, 2017.