

RENDIMENTO QUÂNTICO EM ALGODOEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO E APLICAÇÃO DE SUPERÓXIDO DISMUTASE NA FASE VEGETATIVA

ANDREZZA MAIA DE LIMA¹, FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA², MIRANDY DOS SANTOS DIAS³, PEDRO DANTAS FERNANDES⁴ e ROSEANE CAVALCANTI DOS SANTOS⁵

¹Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB, andrezzamaia2010@hotmail.com;

²Dr. em Engenharia Agrícola, Bolsista PDJ/CNPq/UFCG, Campina Grande, PB, agrofdsilva@gmail.com;

³Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB, mirandydias@gmail.com;

⁴Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Prof. Voluntário PPGEA, UFCG, Campina Grande-PB, pedrodantasfernandes@gmail.com

⁵Dra. em Biologia Molecular, pesquisadora da EMBRAPA Algodão, Laboratório de Biotecnologia, Campina Grande, PB, roseane.santos@embrapa.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: Objetivou-se avaliar o rendimento quântico no genótipo de algodoeiro FMT 705 sob estresse hídrico e aplicação foliar de superóxido dismutase na fase vegetativa. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Algodão, localizada na cidade de Campina Grande, PB. Os tratamentos resultaram da combinação entre dois fatores: duas disponibilidades hídrica (estresse hídrico e irrigação plena) e quatro concentrações de superóxido dismutase (0, 50, 100 e 150 U g⁻¹ MF min⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com 4 repetições, perfazendo o total de 32 unidades experimentais. Foram avaliados a eficiência quântica máxima do PSII (fotossistema II), eficiência fotoquímica do PSII, o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII e a eficiência instantânea do uso da água. A aplicação de SOD no genótipo de algodoeiro FMT 705, é eficaz em aumentar a eficiência quântica do PSII, em plantas submetidas à deficiência hídrica. A aplicação de 126,6 U g⁻¹ MF min⁻¹ de Superóxido Dismutase aumenta a eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*). O estresse hídrico na fase vegetativa, afeta a eficiência fotoquímica e o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII.

PALAVRAS-CHAVE: *Gossypium hirsutum* L., Estresse oxidativo, fisiologia vegetal, SOD.

QUANTUM YIELD IN COTTON UNDER WATER STRESS AND SUPEROXIDE DISMUTASE APPLICATION IN THE VEGETATIVE PHASE

ABSTRACT: The objective was to evaluate the quantum yield in cotton genotype FMT 705 under hydric stress and foliar application of superoxide dismutase in the vegetative phase. The experiment was conducted in a greenhouse, in the Brazilian Agricultural Research Corporation - Embrapa Algodão, located in Campina Grande, PB. The treatments resulted from the combination of two factors: two water availability (water stress and full irrigation) and four concentrations of superoxide dismutase (0, 50, 100 and 150 U g⁻¹ MF min⁻¹). The experimental design was in randomized blocks, in a 2 x 4 factorial scheme, with 4 repetitions, totaling 32 experimental units. The maximum quantum efficiency of PSII, photochemical efficiency of PSII, basal quantum yield of photochemical processes in PSII and instantaneous water use efficiency were evaluated. The application of SOD to the cotton genotype FMT 705 is effective in increasing the quantum efficiency of photosystem II in plants subjected to water deficiency. The application of 126.6 U g⁻¹ MF min⁻¹ of Superoxide Dismutase (SOD) increases the instantaneous water use efficiency (*EiUA*). Water stress in the vegetative phase affects the photochemical efficiency and the basal quantum yield of photochemical processes in PSII.

KEYWORDS: *Gossypium hirsutum* L., Oxidative stress, plant physiology, SOD.

INTRODUÇÃO

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), originário da América Central, é considerada uma fibra vegetal de grande importância mundial. A espécie foi domesticada a cerca de 4000 anos e é cultivada atualmente em mais de 60 países (INTERNATIONAL COTTON ADVISORY COMMITTEE - ICAC, 2021). É uma fibrosa possuidora de mecanismo fisiológico complexo, geralmente tolerante à seca, pelo eficiente mecanismo de ajustamento osmótico (BELTRÃO, 2011), portanto é uma importante alternativa de cultivo para a região semiárida. A necessidade hídrica da cultura varia de 400 a 700 mm por ciclo (EMBRAPA, 2016). O Brasil se destaca como um dos principais produtores, exportadores da fibra e um dos maiores consumidores de algodão em pluma, com lugar privilegiado no cenário internacional (ABRAPA, 2021).

A falta de água é um dos tipos de estresse abiótico mais crítico e comum em lavouras conduzidas em ambientes semiáridos, podendo reduzir o tamanho dos botões florais, do crescimento vegetativo e da produção de posições frutíferas e abortamento dos botões pós-florescimento para preservar os assimilados para os frutos remanescentes (YEATES, 2014). Ocorre a limitação das trocas gasosas, pelo fechamento estomático, que resulta em desequilíbrio entre a fase fotoquímica e o metabolismo do carbono, devido à diminuição da difusão do CO₂ (CHAVES et al., 2009). Essa limitação causa um desequilíbrio entre a atividade fotoquímica no PSII e a necessidade de elétrons para a fotossíntese, o que leva as plantas a serem expostas ao excesso de energia, com redução da cadeia de elétrons (YI et al., 2016). Como consequência, reduz-se a atividade da cadeia de transporte de elétrons nos cloroplastos e nas mitocôndrias, formando espécies reativas de oxigênio (ROS) que são tóxicas, como ânion superóxido (O₂•-), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), radical hidroxila (HO•) e oxigênio singleto (1O₂), que irão prejudicar o metabolismo da planta (NOCTOR, et al., 2014; YI et al., 2016; FOYER, 2018; DENAXA et al., 2020).

Estudos sobre mecanismos fisiológicos e estratégias de mitigação dos efeitos do estresse hídrico no cultivo do algodoeiro são relevantes, devido à sua importância para o desenvolvimento socioeconômico regional. Considerando a importância da enzima superóxido dismutase (SOD) no processo de neutralização de ROS, cujo papel é dismutar radicais O₂•- para H₂O₂ e oxigênio (O₂), este trabalho objetiva avaliar o rendimento quântico em genótipo de algodoeiro FMT 705 sob estresse hídrico e aplicação foliar de superóxido dismutase na fase vegetativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido (casa de vegetação), na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Algodão, localizada na cidade de Campina Grande, PB, Brasil (7° 13' 50" S, 35° 52' 52" O, 551 m), no período de novembro a dezembro de 2019.

Os tratamentos resultaram da combinação entre dois fatores: duas disponibilidades hídrica (estresse hídrico e irrigação plena) e quatro concentrações de superóxido dismutase (0, 50, 100 e 150 U_g⁻¹ MF min⁻¹). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com 4 repetições, perfazendo o total de 32 unidades experimentais. A definição das concentrações de SOD baseou-se na quantidade média de SOD, encontrada em análises bioquímicas de genótipos de algodoeiro, com base em dados da literatura (RODRIGUES, 2016; PAIXÃO, 2017; WU, 2015).

O genótipo de algodão utilizado foi o FMT 705, desenvolvido pela Fundação Mato Grosso – FMT, ele é do tipo herbáceo, adaptado para o ambiente de cerrado, fibra branca, alta produtividade e possui alto rendimento de maçãs maduras.

As plantas de algodoeiro foram cultivadas em recipientes plásticos (vasos) com volume de 0,6 L com perfurações na base para permitir a drenagem do excesso de água. Os recipientes foram preenchidos com a mistura, em partes iguais, de dois tipos de substratos comerciais (Basaplant e Berra boi) e cultivada uma planta por vaso.

A SOD (Cu/Zn-SOD) foi adquirida da Merck/Sigma Aldrich (Alemanha), em formato de pó liofilizado, em embalagem de 20,3 gramas. O peso molecular da SOD, nessa embalagem, era de 4.506 Unidades mg⁻¹ de proteína. Para obtenção das quatro concentrações foi previamente preparada uma solução tampão fosfato, com pH 7,4, para diluir a SOD e as soluções foram preparadas minutos antes de sua aplicação nas plantas. Na concentração 1 foi utilizado apenas 7 mL de solução tampão; na concentração 2, foi utilizado 3,8 µL de SOD e 7 mL de solução tampão; na concentração 3, foi

utilizado 7,6 µL de SOD e 7 mL de solução tampão e na concentração 4, foi utilizado 11,4 µL de SOD e 7 mL de solução tampão.

Transcorridos 21 DAS, foi iniciada a supressão hídrica durante seis dias, com aplicação de SOD nas plantas, a partir do terceiro dia de suspensão da irrigação, repetida até o quinto dia conforme os tratamentos pré-estabelecidos. A aplicação foi por via foliar, na segunda folha completamente expandida, do ápice para a base, nas faces abaxial e adaxial utilizando um pincel de cerdas finas,

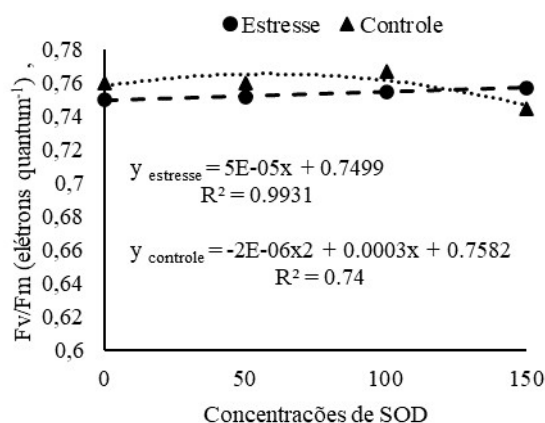
Aos 27 DAS, por ocasião do término do estresse hídrico, com uso de fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science, foram mensuradas os seguintes parâmetros de fluorescência: eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m), eficiência fotoquímica do PSII (F_v/F_o) e o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII (F_o/F_m) (KONRAD et al., 2005). Na mesma ocasião por meio de um aparelho portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser- IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO_2 e usando uma fonte artificial de radiação de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foi determinada a eficiência instantânea do uso da água (E_iUA).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade (normalidade de sua distribuição) e avaliados mediante análise de variância (Anova). A significância entre condições hídricas foi determinada pelo teste F ($p \leq 0,05$) e para as concentrações de SOD foi aplicado a regressão polinomial, utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos, observa-se que a aplicação de SOD foi eficaz em aumentar a eficiência quântica do PSII do algodoeiro FMT 705, quando as plantas foram submetidas a deficiência hídrica (Figura 1). O aumento de $0,003 \text{ elétrons quantum}^{-1}$ da eficiência quântica do PSII indica melhor aproveitamento e conversão da energia luminosa. O valor máximo estimado, nas plantas sob estresse hídrico foi de $0,75 \text{ elétrons quantum}^{-1}$, obtido quando foi aplicado SOD na concentração $150 \text{ Ug}^{-1}\text{MF min}^{-1}$. Desse modo, fica evidente que não ocorreu dano no PSII, pois, o valor máximo obtido para a razão F_v/F_m ficou um pouco acima do índice ($0,75 \text{ elétrons quantum}^{-1}$), considerado como limite para provocar danos no aparato fotossintético das plantas (SANTOS et al., 2010), pois, conforme REIS et al. (2011), quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de F_v/F_m variam entre $0,75$ e $0,85 \text{ elétrons quantum}^{-1}$.

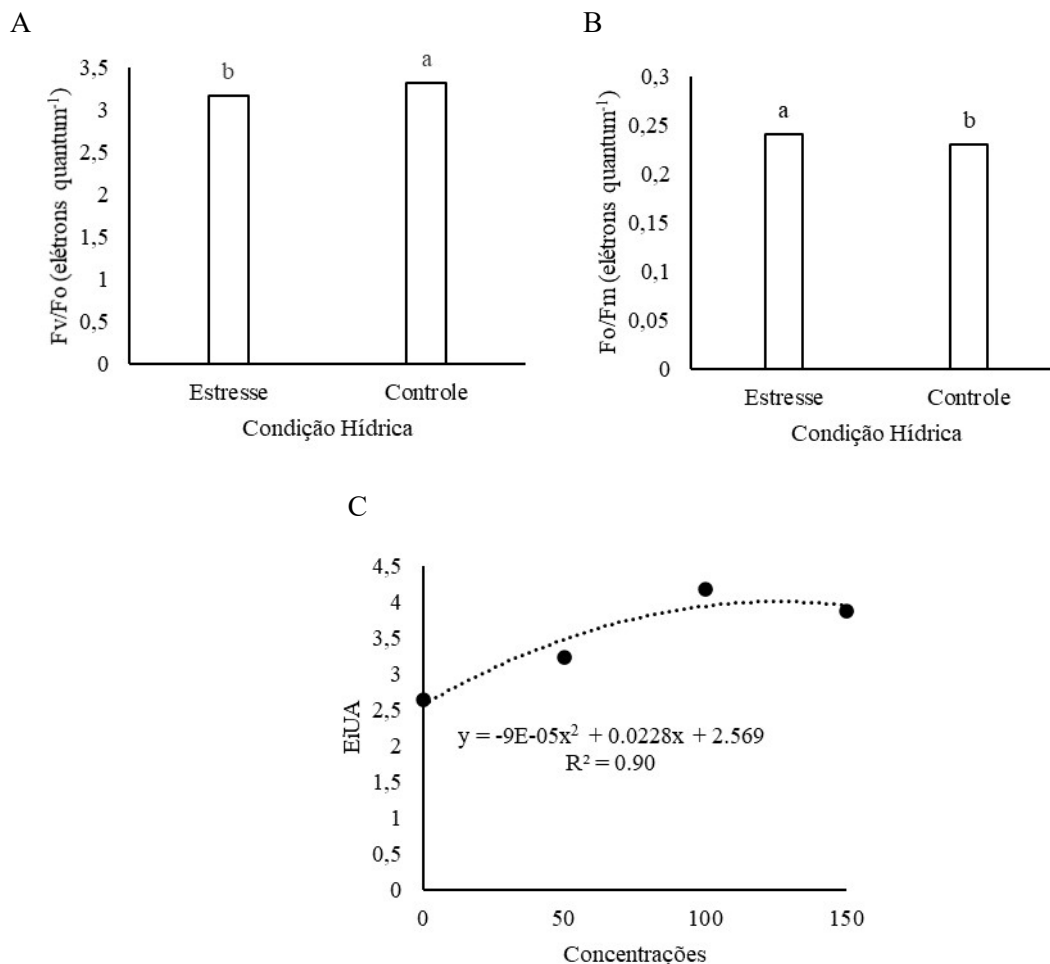
Figura 1. Desdobramento da interação para eficiência quântica máxima do PSII de algodoeiro sob estresse hídrico e aplicação foliar de superóxido dismutase na fase vegetativa.



Na razão F_v/F_o (Figura 2A) observou-se redução na eficiência fotoquímica das plantas de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico em relação às plantas controle. Alguns autores utilizam a relação F_v/F_o como indicador da eficiência máxima no processo fotoquímico no PSII e/ou da atividade fotossintética potencial (razão máxima de produção quântica dos processos concorrentes fotoquímicos e não fotoquímicos no PSII) (REIS & CAMPOSTRINI, 2011). Na razão F_o/F_m (Figura 2B), observou-se aumento no rendimento quântico basal nas plantas submetidas ao estresse hídrico em relação às plantas controle. A maior eficiência instantânea do uso da água (Figura 2C) ($4,013$), foi obtida na concentração estimada de $126,6 \text{ Ug}^{-1}\text{MF min}^{-1}$ de SOD, indicando que esta concentração

contribuiu para a manutenção da fotossíntese. As plantas conseguiram ajustar melhor o uso da água e do carbono disponíveis durante o estresse hídrico imposto. A eficiência instantânea no uso de água ($EiUA$) se trata da relação entre a fotossíntese e a transpiração da planta, ou seja, essa variável relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde (FERRAZ et al., 2012).

Figura 2. (A) Eficiência fotoquímica do PSII, (B) rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII de algodoeiro sob estresse hídrico na fase vegetativa e (C) eficiência instantânea do uso da água em algodoeiro sob aplicação foliar de superóxido dismutase na fase vegetativa.



Letras iguais não diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$)

CONCLUSÃO

A aplicação de SOD no genótipo de algodoeiro FMT 705, é eficaz em aumentar a eficiência quântica do PSII, em plantas submetidas à deficiência hídrica, indicativo de melhor aproveitamento e conversão da energia luminosa.

A aplicação foliar de superóxido dismutase na concentração estimada $126,6 \text{ U g}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$, aumenta a eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) no genótipo de algodoeiro FMT 705.

O estresse hídrico na fase vegetativa em algodoeiro FMT 705, afeta a eficiência fotoquímica e o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII.

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 de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA - Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão: o algodão no Brasil. 2021. <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Mundo.aspx>. Acesso em: 28 de abril de 2022.
- Beltrão, N. E. M.; Souza, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: EMBRAPA- CNPAO, p. 54-75. 2011.
- 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, p.551-560, 2009.
- Denaxa, N. K.; Damvakaris, T.; Roussos, P. A. Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, v.259, n.108812, 2020.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manejo da Irrigação do Algodoeiro. 2016. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1041572/manejo-da-irrigacao-do-algodoeiro>. Acesso em: 22 de abril de 2022.
- Ferraz, R. L. S.; Melo, A. S. M.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Nunes Júnior, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, p.181-188, 2012.
- 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.
- Foyer, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and experimental botany*, v.154, p.134-142, 2018.
- ICAC - International Cotton Advisory Committee. Cotton this month. 2021. <https://icac.org/News/NewsDetails?NewsId=2388&YearId=2021>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.
- Konrad, M. L. F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, v.64, p.339-347, 2005.
- Noctor, G.; Mhamdi, A.; Foyer, C. H. The Roles of Reactive Oxygen Metabolism in Drought: Not So Cut and Dried. *Plant Physiology*, v.164, p.1636-1648, 2014.
- Paixão, A. P.; Júnior, E. F.; Hiraki, S. S.; Machado, L. H. M. D.; Camargos, L. S. De.; Carvalho, F. T. De. Crescimento, fotossíntese e atividade enzimática de genótipos de algodoeiro herbáceo submetidos ao cloreto de mepiquat. *Cultura Agrônômica*, v.26, p.540-553, 2017.
- Reis, F. O.; Campostrini, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira Agrociência*, v.17, p.284-295, 2011.
- Rodrigues, J. D.; Silva, C. R. C.; Pereira, R. F.; Ramos, J. P. C.; Melo Filho, P. A.; Cavalcanti, J. J. V.; Santos, R. C. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.3763-3770, 2016.
- Santos, C.M.; Gonçalves, E.R.; Endres, L.; Gomes, T.C.A.; Jadoski, C.J.; Nascimento, L. A. & Santos, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.3, n.3, p.95-102. 2010.
- Yeates, S. J. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F. R. (Ed.). O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, p.63-77, 2014.
- Yi, X. P.; Zhang, Y. L.; Yao, H. S.; Luo, H. H.; Gou, L.; Chow, W. S.; Zhang, W. F. Rapid recovery of photosynthetic rate following soil water deficit and re-watering in cotton plants (*Gossypium herbaceum* L.) is related to the stability of the photosystems. *Journal of Plant Physiology*, v.194, p.23-34, 2016.
- Wu, S.; Hu, C.; Tan, Q.; Li, L.; Shi, K.; Zheng, Y.; Sun, X. Drought stress tolerance mediated by zinc-induced antioxidative defense and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Acta Physiol Plant*, v.37, p.1-9, 2015.