

TROCAS GRASOSAS DE PLANTAS DO ALGODOEIRO, SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO E APLICAÇÃO EXÓGENA DE PIRUVATO

Mirandy dos Santos Dias¹, Francisco de Assis da Silva², Pedro Dantas Fernandes³, Roseane Cavalcanti Santos⁴, Rômulo Carantino Lucena Moreira⁵, Idelvan José da Silva⁶

RESUMO: Objetivou-se avaliar trocas gasosas do algodoeiro cv. BRS jade, submetidas ao estresse hídrico e aplicação exógena de piruvato. A pesquisa foi realizada em condições de ambiente protegido pertencente a unidade acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, utilizando sementes de algodoeiro cultivar BRS Jade. Foram estudados seis tratamentos com supressão hídrica e aplicação exógena de piruvato de cálcio variando as fases fenológicas da cultura e um tratamento testemunha (irrigação plena). Ao final do estresse hídrico, foram avaliadas as trocas gasosas quanto a condutância estomática, transpiração, taxa assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂. Constatou-se que, à medida que diminuiu a concentração interna de carbono no interior da célula estomática, houve aumento na condutância estomática, taxa de transpiração e taxa de assimilação de CO₂. A suplementação de piruvato de cálcio atenua os efeitos da supressão hídrica na fase vegetativa sobre as trocas gasosas do algodoeiro cv. BRS Jade.

PALAVRAS-CHAVE: *Gossypium hirsutum* L., ácido pirúvico, fisiologia

GROSSY EXCHANGES OF COTTON PLANTS SUBMITTED TO WATER STRESS AND EXOGENOUS PIRUVATE APPLICATION

ABSTRACT: The objective was to evaluate gas exchange of cotton cv. BRS jade, subjected to water stress and exogenous pyruvate application. The research was carried out under protected environment conditions belonging to the Agricultural Engineering academic unit of the Federal University of Campina Grande, using cotton seeds cultivar BRS Jade. Six treatments with water suppression and exogenous application of calcium pyruvate were

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB. e-mail: mirandysd@gmail.com

² Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB

³ Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Prof. do Depto de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB

⁴ Doutora em Biologia Molecular, Pesquisadora, EMBRAPA ALGODÃO, Campina Grande, PB

⁵ Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB

⁶ Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB

studied, varying the phenological phases of the culture and one control treatment (full irrigation). At the end of water stress, gas exchange was evaluated for stomatal conductance, transpiration, CO₂ assimilation rate and internal CO₂ concentration. It was found that, as the internal carbon concentration inside the stomatal cell decreased, there was an increase in stomatal conductance, transpiration rate and CO₂ assimilation rate. Calcium pyruvate supplementation attenuates the effects of water suppression in the vegetative phase on the gas exchange of cotton cv. BRS Jade.

KEYWORDS: *Gossypium hirsutum* L., pyruvic acid, physiology

INTRODUÇÃO

A cultura do algodão colorido tem grande importância socioeconômica para o agronegócio brasileiro, pela fixação de mão de obra e geração de empregos renda para milhares de agricultores familiares (CARDOSO et al., 2010; BARBOSA et al., 2019).

A região semiárida do nordeste brasileiro é caracterizada por reduzidos volumes de precipitações pluviométricas e altas taxas de evaporação ocasionando naturalmente, um déficit hídrico (ZANELLA, 2014). As plantas, em tais condições, induzem ao acúmulo de ácido abscísico (ABA), afetando a abertura estomática, conseqüentemente, reduzindo a condutância estomática e as trocas gasosas, o que resulta em diminuição da síntese de fotoassimilados e a produção da cultura, por se refletir em menor taxa de assimilação de CO₂ e menor mobilização de reservas para o crescimento e manutenção das plantas sob estresse (RICKES et al., 2017).

Na literatura são encontrados alguns trabalhos com embebição e aplicação exógena de cloreto de mepiquat, e ácido salicílico em diversas oleaginosas, entre elas o algodão, no qual foi constatado efeito benéfico no desenvolvimento das plantas (NAGASHIMA et al., 2007; SILVA et al., 2017). Há carência de estudos com substâncias orgânicas, com investigação sobre seus efeitos nos processos fisiológicos das plantas sob condições de estresse hídrico.

Com piruvato, entretanto, foi encontrado apenas um trabalho com *Arabidopsis thaliana*, em que folhas foram incubadas por um período de 2,5 h em piruvato nas concentrações de 10, 100 e 1000 µM e foi verificado que na concentração de 100 µM, o piruvato aumentou o tamanho da corrente aniônica nas células guarda (SHEN et al., 2017).

Neste trabalho, tem-se com hipótese que a aplicação de piruvato na forma de piruvato de cálcio (produto de forma mais barato no comércio), pode resultar em mais energia e condições mais favoráveis para ativação de mecanismos de tolerância ao fator de estresse.

Objetivou-se, avaliar as trocas gasosas do algodoeiro cv. “BRS Jade”, submetido ao estresse hídrico e aplicação exógena de piruvato.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido, pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, localizada na cidade de Campina grande-PB, nas coordenadas geográficas 07° 15’ 18’’ S, 35° 52’ 28’’ O e altitude de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, sub úmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno, conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982). De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pluviosidade anual de Campina Grande é de 802,7 mm.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 7 tratamentos (T1: Supressão hídrica na fase vegetativa e aplicação de piruvato via semente e foliar (S_V-A_{SF}); T2: supressão hídrica na fase de florescimento e aplicação de piruvato via semente e foliar (S_F-A_{SF}); T3: supressão hídrica em duas fases (vegetativa e florescimento) e aplicação de piruvato via semente e foliar (S_{VF}-A_{SF}); T4: supressão hídrica na fase vegetativa e aplicação de piruvato só via foliar (S_V-A_F); T5: supressão hídrica na fase florescimento e aplicação de piruvato só via foliar (S_F-A_F); T6: supressão hídrica em duas fases (vegetativa e florescimento) e aplicação de piruvato só via foliar (S_{VF}-A_F) e T7: irrigação plena durante todo ciclo da cultura e sem aplicação de piruvato (controle), com três repetições, formando 21 parcelas, na qual foram compostas por 2 plantas.

Coletou-se amostras do solo na camada de 0-20 cm de profundidade e em seguida foram levadas ao laboratório de irrigação e salinidade da UFCG (LIS) para a determinação dos atributos químicos, cujo resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo, determinadas no laboratório de irrigação e salinidade (LIS), Campina Grande, PB, 2019

Características químicas do solo		Características físicas do solo	
pH	5,58	Areia	79,14%
P	11,54 cmolc dm ⁻³	Silte	18,29%
K ⁺	0,26 cmolc dm ⁻³	Argila	2,67%
Ca ⁺²	2,98 cmolc dm ⁻³	Densidade do solo	1,54 g cm ⁻³
Na ⁺	1,33 cmolc dm ⁻³	Densidade de partículas	2,71 g cm ⁻³
Mg ⁺²	1,17 cmolc dm ⁻³	Porosidade	47,17%
Al ⁺³	0,03 cmolc dm ⁻³	Umidade (% base de solo seco)	
H ⁺ + Al ⁺³	4,74 cmolc dm ⁻³	Natural	0,66
		Potenciais matriciais (kPa)	Umidade (%)

SB	5,74 cmolc dm ⁻³	10	14,17
M.O.	1,62%	33	11,42
CTC (T)	10,48 cmolc dm ⁻³	100	9,41
CTC (t)	5,77 cmolc dm ⁻³	500	4,60
V	54,77%	1000	4,56
M	0,55%	1500	4,40
		Água disponível	10,31

Foram utilizadas sementes do cultivar de algodão “BRS Jade” provenientes da EMBRAPA ALGODÃO, Campina Grande, PB. As plantas de algodoeiro foram cultivadas em recipientes plásticos (vasos) com aproximadamente 20 L de capacidade, os quais receberam uma camada de 3 cm de brita e uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo. Em cada vaso foi adaptada uma mangueira transparente 4 mm de diâmetro, conectada a sua base e acopladas a coletores de capacidade volumétrica de 1,0 L, para coleta da água drenada. Em seguida, os lisímetros foram preenchidos com 19 dm³ de material de solo representativo da região semiárida do Estado da Paraíba (devidamente destorroado e homogeneizado).

Após a semeadura, as irrigações foram realizadas diariamente, às 17 horas, aplicando-se em cada vaso, o volume de água correspondente à demanda da planta submetida ao tratamento. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio de balanço hídrico, tomando-se como base os termos da Eq. 1, em que: C_H é o consumo hídrico (mL), considerando o volume de água aplicado às plantas (V_a) no dia anterior (mL); V_d é o volume drenado (mL), quantificado na manhã do dia seguinte.

$$C_H = V_a - V_d \quad (1)$$

De posse das informações do peso molecular do piruvato ($C_3H_4O_3$ - 88,06 g mol⁻¹) e a composição do piruvato de cálcio, foi preparada uma solução na concentração de 100 mM de piruvato. A aplicação de piruvato via semente ocorreu através da pré-embebição por um período de 12 horas. A definição da concentração de piruvato utilizada foi baseada em estudo desenvolvido por (SHEN et al., 2017).

Na fase vegetativa, as plantas foram submetidas a 10 dias de supressão hídrica, sendo os últimos 5 dias com aplicação foliar de piruvato e na fase de florescimento foram submetidas a 7 dias de supressão hídrica, sendo os 3 últimos com aplicação foliar de piruvato. A supressão hídrica na fase vegetativa teve início quando as plantas apresentavam três folhas definidas e na fase de florescimento ocorreu por ocasião da abertura da primeira flor. A solução de piruvato de cálcio foi aplicada com auxílio de um borrifador, em todas as folhas da planta a partir das 17 h.

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendação de adubação para ensaios em vasos, de acordo com Novais et al. (1991), aplicando-se as quantidades de 100, 300 e 150 mg/ dm³ de solo de N, P e K, respectivamente, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. A adubação de fundação foi realizada apenas com fósforo e as adubações de cobertura com N e K foram parceladas em duas vezes (na fase vegetativa, na fase de aparecimentos dos primeiros botões florais).

O controle de pragas e doenças foi realizado de modo preventivo com defensivos naturais, conforme necessidade. O controle de plantas invasoras nos lisímetros, foi realizada com campina manual durante a condução do experimento.

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 55 dias após a semeadura (DAS), (final do déficit hídrico na fase de florescimento), tomando-se a terceira folha completamente expandida, do ápice para a base. A condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), foram avaliadas por um equipamento portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser-RGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO_2 e utilizando fonte artificial de radiação de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'. Em seguida foi aplicado o teste de médias Tukey ($p \leq 0,05$) para os tratamentos, através do Software SISVAR (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evidenciou-se efeito significativo entre os tratamentos sobre a condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de carbono (C_i) e eficiência instantânea do uso da água. As plantas de algodoeiro reduziram a abertura estomática e conseqüentemente a taxa de transpiração quando foram submetidas a supressão hídrica de forma isolada na fase de florescimento (T2 e T5) e de forma cumulativa na fase vegetativa e de florescimento (T3 e T6), tanto para aplicação de piruvato via semente e foliar, quanto para aplicação de piruvato apenas via foliar. Quando submetidas a supressão hídrica apenas na fase vegetativa, não foi observado diferença significativa em relação as plantas controle (Tabela 2).

Tabela 2. Médias das variáveis condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i) e taxa de assimilação de CO_2 (A) e eficiência instantânea do uso da água (E_iUA) do algodoeiro cv. BRS Jade, submetidas ao estresse hídrico e aplicação exógena de piruvato de cálcio.

Tratamentos	g_s	E	C_i	A	E_iUA
1- Sv-Asf	0,77 a	1,76 a	11,45 d	3,62 a	2,31 a

2- S _F -A _{SF}	0,71 b	0,82 b	21,62 a	0,91 c	1,55 c
3- S _{VF} -A _{SF}	0,71 b	0,90 b	20,78 ab	0,71 c	0,72 d
4- S _V -A _F	0,76 a	1,64 a	13,04 d	3,02 ab	2,11 ab
5- S _F -A _F	0,71 b	0,87 b	18,41 c	0,81 c	1,04 d
6- S _{VF} -A _F	0,71 b	0,88 b	18,89 bc	0,74 c	0,84 d
7- Controle	0,77 a	1,77 a	11,42 d	2,64 b	1,73 bc
MG	0,73	1,24	16,52	1,78	1,47
Dms	0,004	0,45	1,96	0,89	0,39
CV (%)	1,92	12,94	4,16	17,52	9,40

MG- Média geral; Dms- diferença média significativa e CV- coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As variáveis *gs*, *E*, *Ci*, *A* e *EiUA* foram transformadas em $(\sqrt{x + 0,5})$. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Dms- diferença média significativa e CV- coeficiente de variação. T1: Supressão hídrica na fase vegetativa e aplicação exógena de piruvato via semente e foliar; T2: supressão hídrica na fase de florescimento e aplicação exógena de piruvato via semente e foliar; T3: supressão hídrica na fase vegetativa e de florescimento e aplicação exógena de piruvato via semente e foliar; T4: aplicação foliar de piruvato e supressão hídrica na fase vegetativa; T5: aplicação foliar de piruvato de cálcio e supressão hídrica na fase de florescimento; T6: aplicação foliar de piruvato de cálcio e supressão hídrica na fase vegetativa e florescimento) e T7: Irrigação plena durante todo ciclo da cultura e sem aplicação de piruvato de cálcio.

Os tratamentos T1 e T4 não diferiram do tratamento controle, obtendo menores médias na concentração interna de carbono. A supressão hídrica foi responsável por aumentar a concentração interna de carbono 89,3% (T2), 81,9% (T3), 61,2% (T5) e 65,4% para o T6, quando comparados com o controle (Tabela 2).

Quando as plantas do algodoeiro foram submetidas a supressão hídrica na fase vegetativa (T1 e T4), observa-se que a taxa de assimilação de CO₂ foi maior quando comparado com o tratamento controle, com incremento percentual de 37,1% quando da aplicação exógena de piruvato via semente e foliar e de 14,3% quando da aplicação de piruvato apenas via foliar. Quando da supressão hídrica na fase de florescimento e cumulativa (vegetativa e florescimento), observa-se que a taxa de assimilação de CO₂ foi menor que o tratamento controle. A maior eficiência instantânea do uso da água foi obtida pelo tratamento 1 (2,31) seguido do T4 (2,11) e do tratamento controle (1,73).

À medida que diminuiu a concentração interna de carbono no interior da célula estomática, observa-se um aumento na condutância estomática, taxa de transpiração e taxa de assimilação de CO₂. Quando o represamento de carbono nas células é baixo, tende a haver um aumento na fotossíntese e consequentemente na eficiência instantânea da carboxilação, isso ocorre em virtude de se ter uma alta eficiência da enzima Ribulose-1,5-bisfosfato (RuBisCO) na carboxilação do CO₂ (SILVA et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Constata-se uma relação direta entre o movimento estomático e os outros parâmetros de trocas gasosas como *A*, *Ci* e *E*, uma vez que plantas de comportamento C3, como o algodoeiro, os estômatos são responsáveis direto pela regulação das trocas gasosas, de modo que, o fechamento reduz a taxa transpiratória, comprometendo a taxa fotossintética (SÁ et al., 2015).

CONCLUSÕES

A suplementação de piruvato de cálcio atenua os efeitos da supressão hídrica na fase vegetativa sobre as trocas gasosas do algodoeiro cv. BRS Jade.

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

- BARBOSA, J. L.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. D. P.; VELOSO, L. L. D. S.; SILVA, E. L. D.; GUEDES, M. A. Crescimento de algodoeiro colorido cv. BRS Topázio em solos com distintas salinidades e adubação orgânica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 201-210, 2019.
- CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. C. A.; BELTRÃO, N. E. M.; VALE, L. S. Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida BRS Safira. **Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 456-462, 2010.
- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna. 1982. 368p.
- 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.
- NAGASHIMA, G. T.; MIGLIORANZA, É.; MARUR, C. J.; YAMAOKA, R. S.; GOMES, J. C. Embebição de sementes e aplicação foliar com cloreto de mepiquat no crescimento e produção do algodoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1027-1034, 2007.
- RICKE, L. N.; KLUMB, E. K.; SILVA, C. D. S.; BACARIN, M. A.; BIANCHI, V. J. Water deficit affects gas exchange in peach trees cultivar chimarrita grafted onto different rootstocks. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 140-153, 2017.
- SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. Fisiologia da percepção do estresse salino em híbridos de tangerineira - Sunki Comum sob solução hidropônica salinizada. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 463-470, 2015.

SHEN, J. L.; LI, C. L.; WANG, M.; HE, L. L.; LIN, M. Y.; CHEN, D. H.; ZHANG, W. Mitochondrial pyruvate carrier 1 mediates abscisic acid-regulated stomatal closure and the drought response by affecting cellular pyruvate content in *Arabidopsis thaliana*. **BMC plant biology**, v. 17, n. 1, p. 217, 2017.

SILVA, A. C. D.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S. D.; COSTA, R. R.; ANDRADE, W. L. D.; SILVA, D. C. D. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2017.

SILVA, L. A. S.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L. M.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. Especial, p. S1-S7, 2014.

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

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014