

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO GERGELIM SOB ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

Henderson Castelo Sousa^{1*}, Geocleber Gomes de Sousa², Carla Ingryd Nojosa Lessa³, Délcio de Jesus Gongga Lopes⁴, Magno José Duarte Cândido⁵

RESUMO: As regiões semiáridas, apresentam problemas que podem comprometer características fisiológicas das plantas, como períodos de seca (induzindo o déficit hídrico) e acúmulo de sais no solo devido ao uso de água salobra na irrigação (resultando em estresse salino). Objetivou-se avaliar os efeitos dos estresses hídrico e salino nas trocas gasosas da cultura do gergelim. O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Piroás, pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Redenção, Ceará, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas correspondem a cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa - 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m⁻¹), e as subparcelas a dois regimes hídricos, 50% e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). O uso de água salobra a partir de 1,6 dS m⁻¹ para 100% da ETc, e 2,15 dS m⁻¹ para 50% da ETc, reduz a taxa de assimilação de CO₂, transpiração, condutância estomática do gergelim.

PALAVRAS-CHAVE: *Sesamum indicum* L., salinidade, déficit hídrico, estresses combinados.

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SESAME UNDER SALT AND WATER STRESSES

ABSTRACT: Semi-arid regions have problems that can compromise the physiological characteristics of plants, such as periods of drought (inducing water deficit) and the accumulation of salts in the soil due to the use of brackish water in irrigation (resulting in saline stress). The aim was to evaluate the effects of water and salt stress on gas exchange in the sesame crop. The work was carried out at the Piroás Experimental Farm, belonging to the University of the International Integration of Afro-Brazilian Lusophony, Redenção, Ceará, Brazil. The experimental design used was a randomized block design with four replications. The plots corresponded to five electrical conductivities of the irrigation water (ECw - 0.8; 1.6; 2.4; 3.2 and 4.0 dS m⁻¹), and the sub-plots to two water regimes, 50% and 100% of crop evapotranspiration (ETc). The use of brackish water from 1.6 dS m⁻¹ for 100% of ETc, and 2.15 dS m⁻¹ for 50% of ETc, reduces the rate of CO₂ assimilation, transpiration and stomatal conductance of sesame.

KEYWORDS: *Sesamum indicum* L., salinity, water deficiency, combined stresses

INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta pertencente à família Pedaliaceae, do gênero *Sesamum*, conhecida pela sua alta capacidade de adaptação à diferentes condições de solo e clima, especialmente em regiões tropicais quentes (ARRIEL; BELTRÃO, 2023).

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto. de Eng. Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Eng. Agrícola – PPGEA, Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza - CE, Fone: (85) 99710.3883, castelohenderson@gmail.com.
² Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB, Redenção – CE, sousagg@unilab.edu.br.
³ Eng^a Agrônoma, Doutoranda, Depto. de Eng. Agrícola, PPGEA, UFC, Fortaleza – CE, Ingryd.nojosal@gmail.com.
⁴ Discente de Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Rural, UNILAB, Redenção – CE, delciolopesss@gmail.com.
⁵ Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Zootecnia, UFC, Fortaleza - CE, magno@ufc.br

O Nordeste brasileiro é uma região de clima semiárido, o qual se destaca pela pluviosidade irregular ao longo do ano. Nesse contexto, se faz necessário a utilização da irrigação para suprir as necessidades hídricas das plantas e garantir a segurança alimentar. Porém, nessa região é comum presença de sais na água de irrigação, tornando-a salobra (SOUSA et al., 2022), proporcionando absorção de íons prejudiciais, pelo fluxo de transpiração, afetando as funções fisiológicas e bioquímicas da planta, incluindo o fechamento dos estômatos, reduzindo a disponibilidade de CO_2 e a concentração de pigmentos essenciais, como clorofila e carotenoides (SOUSA et al., 2018).

Salienta-se que o déficit hídrico nas plantas é outra problemática decorrente da escassez de precipitação ao longo do ano na região nordeste. No entanto, tal condição ocorre quando o solo não possui água em quantidade suficiente para atender às necessidades hídricas das plantas, resultando na desorganização do protoplasma, na diminuição da condutância estomática, na redução da fotossíntese e, por conseguinte, na diminuição da produtividade (CAMPOS, SANTOS; NACARATH, 2021).

Quando combinados, o estresse hídrico e o estresse salino, podem elevar à toxicidade iônica, redução do volume celular, desequilíbrio nutricional, fechamento parcial dos estômatos, aumento da temperatura foliar e redução no desempenho agrônomo da cultura (SOUSA et al., 2022).

Diante desse cenário, objetivou-se avaliar os efeitos do estresse hídrico e salino nas trocas gasosas da cultura do gergelim.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre agosto a outubro de 2023, na Fazenda Experimental Piroás pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada no Maciço de Baturité, na cidade de Redenção, Ceará, Brasil, à aproximadamente 55 km da capital Fortaleza ($04^{\circ}14'53''\text{S}$, $38^{\circ}45'10''\text{W}$, e altitude média de 240 m). O clima da região é do tipo BSh' (clima semiárido quente) com temperaturas quentes, forte insolação, elevados índices de evaporação e chuvas predominantes nas estações do verão e do outono (ALVARES et al., 2013)

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas corresponderam a cinco condutividades elétricas da água de irrigação - CEa: 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m^{-1} , e as subparcelas referentes à dois regimes hídricos - RH: 50 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc).

As águas salobras foram preparadas a partir da água de abastecimento da fazenda Piroás (0,8 dS m^{-1}), usando os sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), e cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), cujas quantidades utilizadas foram determinadas de forma a se obter a CEa desejada na proporção 7:2:1, obedecendo a relação entre a concentração da água e a sua condutividade elétrica

($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$) (RHOADES, KANDIAH, MASHALI, 2000). A condutividade da água foi medida periodicamente com um condutivímetro portátil (AZ[®] 806505 pH/Cond./TDS/Sal).

As sementes de gergelim (cultivar BRS Anahí) foram semeadas manualmente seguindo o espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, com distribuição de oito sementes por cova, à uma profundidade de 2 cm. Aos 14 dias após a semeadura (DAS), logo após o estabelecimento das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por cova.

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi por gotejamento, com espaçamento de 0,3 m entre emissores, correspondendo a um emissor por planta. Foram utilizados emissores de vazão correspondente a 4 e 8 L h⁻¹, respectivamente. Realizou-se testes de uniformidade, obtendo-se um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de aproximadamente 92%. O manejo da irrigação foi estimado diariamente pela evapotranspiração de referência, usando dados de um tanque evaporimétrico Classe A, e aplicando-se uma fração de lixiviação de 15%.

Aos 51 dias após a semeadura (51 DAS), foram realizadas as análises fisiológicas referente a taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), com auxílio de um analisador de gás infravermelho IRGA (LI-6400XT, LICOR, Lincoln, EUA), em sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min⁻¹. Todas as medições biométricas e fisiológicas foram feitas entre 09:00 e 11:00 horas.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov- Smirnov ao nível de 0,05 de probabilidade. Após verificação da normalidade os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Em casos de significância de variáveis quantitativas (condutividade elétrica da água) aplicou-se à análise de regressão, e à comparação de médias para variáveis qualitativas (regimes hídricos), utilizando-se o programa Assistat[®] 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 1, que a interação entre a condutividade elétrica da água e os regimes hídricos afetou significativamente a taxa de assimilação de CO₂ e a transpiração ($p \leq 0,01$). Por outro lado, a condutância estomática foi influenciada isoladamente pela condutividade elétrica da água de irrigação ($p \leq 0,05$).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para taxa se assimilação de CO₂ (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) de plantas de gergelim cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e regimes hídricos (RH) aos 51 dias após a semeadura.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
		A	E	gs
Blocos	3	2,10 ^{ns}	0,26 ^{ns}	7,66 ^{ns}
CEa	4	48,4 ^{**}	2,68 ^{**}	4,27 [*]
Resíduo (CEa)	12	4,32	0,47	2,54
Parcelas	19			
Regime Hídrico (RH)	1	23,36 [*]	0,44 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Resíduo (RH)	15	3,09	0,18	5,56
CEa × RH	4	24,96 ^{**}	1,51 ^{**}	10,99 ^{ns}
Total	39			
CV - CEa (%)	-	12,29	12,77	11,12
CV - RH (%)	-	10,39	8,06	15,59

(*) significativo pelo teste F a 5%; (**) Significativo pelo teste F a 1%; ns: não significativo; CV: Coeficiente de variação.

A taxa de assimilação de CO₂ em plantas sob o regime hídrico de 100% da ETc, apresentou uma resposta linear decrescente, com decréscimo médio de 1,86 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ por unidade de aumento da CEa. Já sob o regime hídrico de 50% da ETc, a taxa de assimilação de CO₂ foi representada pelo modelo matemático polinomial quadrático, apresentando taxa máxima de absorção de 19,43 μmol CO₂ m⁻² S⁻¹ para uma CEa de 2,09 dS m⁻¹ (Figura 1A).

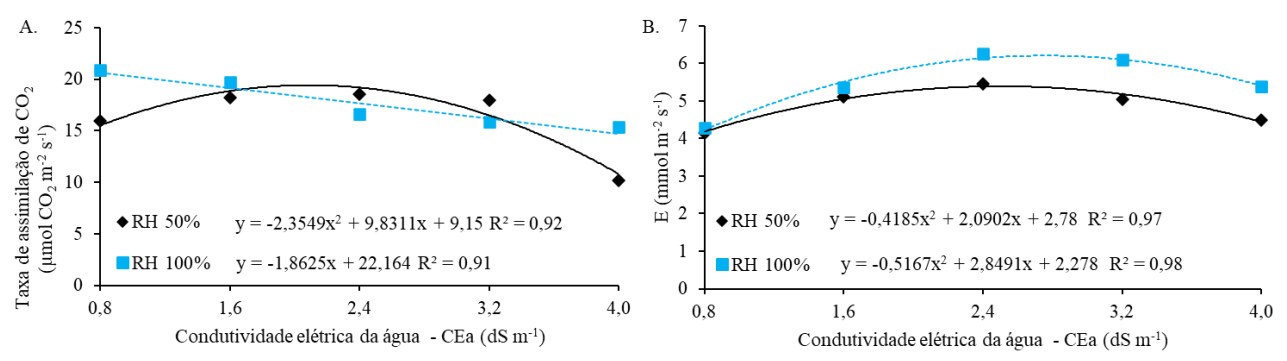


Figura 1. Taxa de assimilação de CO₂ (A) e transpiração (B) de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos de 100 % (■) e 50% (◆) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

A redução na taxa de assimilação de CO₂ está associada a deposição de sais no solo através da água de irrigação. Os sais, por sua vez, podem causar redução da taxa fotossintética, devido aos efeitos osmóticos e tóxicos dos íons, como reportado por Sousa et al. (2022). Além disso, pode-se observar que as trocas gasosas foliares são geralmente controladas pela abertura dos estômatos para permitir a entrada de CO₂, resultando na perda de água. Portanto, em situações de estresse salino e/ou hídrico, há uma restrição na assimilação de CO₂ (PEREIRA FILHO et al., 2019).

Respostas similares com a cultura do gergelim, foram observadas por Dias et al. (2022), ao estudarem diferentes níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 1,1; 1,9; 2,7; e 3,5 dS m⁻¹) em um regime de irrigação plena. Esses autores observaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação reduziu a taxa de assimilação de CO₂, com decréscimos médios de 0,842 μmol CO₂ m⁻² S⁻¹, por unidade de acréscimo da condutividade elétrica da água de irrigação.

O aumento na condutividade elétrica da água teve impacto negativo sobre a transpiração (*E*), com maior intensidade no regime hídrico de 50% da ETc. Os dados obtidos se ajustaram melhor ao modelo matemático polinomial quadrático, evidenciando transpiração máxima 5,39 e 6,2 mmol m⁻² s⁻¹ para uma CEa de 2,5 e 2,76 dS m⁻¹, para os regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, respectivamente (Figura 1B).

Tal resultado refletiu no fechamento dos estômatos, que é uma consequência dos estresses abióticos, como estresse hídrico e/ou salino, que resultam em uma redução na disponibilidade de água, levando à diminuição na transpiração. Esse mecanismo de defesa é empregado pela planta para evitar a perda excessiva de água e o risco de desidratação, pois, sob condições de estresse salino, a absorção de água é limitada devido ao aumento no potencial osmótico do solo. Por outro lado, em condições de estresse hídrico, ocorre uma sinalização entre a raiz e a parte aérea como mecanismo de defesa, mediada pelo ácido abscísico, que por sua vez induz o fechamento parcial dos estômatos (BARBOSA et al., 2022).

Barbosa et al. (2022), ao conduzirem um estudo com a cultura do amendoim submetida a estresse hídrico (50% e 100 da ETc) e diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; e 5 dS m⁻¹), constataram uma redução de 25,94% para o regime hídrico de 50% da ETc e uma redução de 14,88% para o regime hídrico de 100% da ETc.

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação resultou em uma redução na condutância estomática, ajustando-se ao modelo polinomial quadrático, com valor máximo de 3,77 mol H₂O m⁻² s⁻¹ para uma CEa de 2,14 dS m⁻¹. (Figura 2). O fechamento parcial dos estômatos, causado pela redução do potencial osmótico da planta e pela disparidade entre a absorção de água pelas raízes e as perdas por transpiração, resultantes do estresse salino é considerado uma estratégia para evitar a perda excessiva de água, reduzindo a transpiração (DIAS et al., 2022; CAMPOS, SANTOS; NACARATH, 2021).

Por outro lado, Dias et al. (2022), registraram redução na condutância estomática da cultura do gergelim irrigada com água salobra.

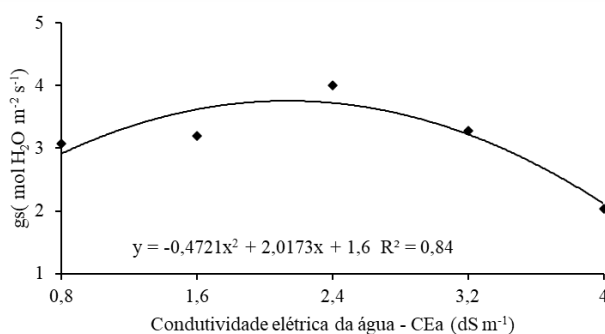


Figura 2. Condutância estomática de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 51 dias após a semeadura

CONCLUSÕES

O uso de água salobra a partir de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ para 100% da ETc, e $2,15 \text{ dS m}^{-1}$ para 50% da ETc, reduz a taxa de assimilação de CO_2 , transpiração e condutância estomática.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 6, pág. 711-728, 2013.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M. **Cultivo do gergelim**. Campina grande-PB: Embrapa Algodão, 2023. 46 p.
- BARBOSA, A. S. et al. Gas exchange and growth of peanut crop subjected to saline and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 557-563, 2022.
- CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e311101523155, 2021.
- DIAS, A. S. et al. Trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, p. 1237-1256, 2022.
- PEREIRA FILHO, J. V. et al. Physiological responses of lima bean subjected to salt and water stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 959-965, 2019.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. 1.ed. Campo Grande, PB: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 48).
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Africa Journal and Agriculture Research**, Campina Grande, v. 11, p. 3733-3740, 2016.
- SOUSA, G. G. et al. Trocas gasosas na cultura da fava irrigada com águas salinas. **Irriga**, v. 1, p. 19-23, 2018.
- SOUSA, H. C. et al. Gas exchange and growth of zucchini crop subjected to salt and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 815-822, 2022.