TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO DA CULTURA DO GERGELIM SUBMETIDA A CONDIÇÕES DE ESTRESSES HÍDRICO E SALINO

DELCIO DE JESUS GONGA LOPES[1], GEOCLEBER GOMES DE SOUSA[2]

RESUMO: As regiões semiáridas, apresentam problemas que podem comprometer características morfológicas e fisiológicas das plantas, como períodos de seca (induzindo o estresse hídrico) e acúmulo de sais no solo devido ao uso de água salobra na irrigação (resultando em estresse salino). Assim, objetivou-se avaliar os efeitos dos estresses hídrico e salino nas trocas gasosas e crescimento 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 três 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. Aos 51 dias após a semeadura, foram realizadas análises das seguintes variáveis: Transpiração, concentração interna de carbono, eficiência do uso da água, taxa de assimilação de dióxido de carbono, altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule e área foliar. Que foram reduzidas pelo aumento da CEa, com maior intensidade no regime de 50% da ETc. Também foram avaliadas, a temperatura foliar, que aumentou com o incremento da CEa, com maior intensidade no regime de 50% da ETc; a condutância estomática, que foi reduzida pelo aumento da condutividade elétrica da água; e o índice relativo de clorofila, que foi diminuído pela redução hídrica (100% para 50% da ETc).

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L., Salinidade, Déficit hídrico.

GAS EXCHANGES AND GROWTH OF SESAME CROP SUBJETCED TO DROUGHT AND SALT STRESS CONDICTIONS

ABSTRACT: The Semi-arid regions present problems that may represent a risk to the physiological and morphological traits of the plants, such as drought periods (which induces

[1] Graduando em Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Rural; Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira; e-mail: delciolopesss@gmail.com.
[2] Doutor em Engenharia Agrícola; Professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira; e-mail: @sousagg@unilab.edu.br.

drought stress in plants) and the accumulation of salts in the soil due to the utilization of brackish water in irrigation. This study aims to evaluate the effects of salt and drought stress on the gas exchanges and growth of sesame crop, and it was conducted in the experimental farm Piroás, which belongs to the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusophony, Redenção, Ceará state, Brazil. The plants were disposed in random blocks, in a split-plot design. The plots corresponded to five electrical conductivity of irrigation water - ECw (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 dS m^{-1}), the subplots corresponded to the water regimes, 50% and 100% of the crop evapotranspiration. At 51 days after sowing, analyzes were made on the following variables: Transpiration, internal carbon concentration, water use efficiency, carbon dioxide assimilation rate, plant height, number of leaves, stem diameter and leaf area. Which were reduced by the increase of the ECw, showing more intensity in the 50% regime of ETc. Leaf temperature was increased by the increasement in the Ecw, showing more increasement in the 50% regime of ETc; Stomatal conductance, which was reduced by the increasement of the ECw; and the relative chlorophyll index, which was reduced by the decrement of water regimes (100% to 50% of ETc), were also evaluated on the same day.
Key words: *Sesamum indicum* L., Salinity, Water deficiency.

INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta pertencente à família Pedaliaceae, do gênero Sesamum. É amplamente conhecido pela sua resistência à seca e alta capacidade de adaptação à diferentes condições de solo e clima, especialmente em regiões tropicais quentes. A África é o centro de origem do gergelim, embora a sua maior diversidade de variedades seja encontrada na Ásia. O gergelim é cultivado globalmente em cerca de 71 países, com destaque aos de África e da Ásia, incluindo Myanmar, Índia, China, Etiópia, Nigéria, Uganda, Tanzânia, Niger, Burkina Faso e Somália, que por sua vez, representam aproximadamente 81,38% da produção mundial de grãos de gergelim e cobrem cerca de 81,77% da sua área colhida (ARRIEL et al., 2007; ARRIEL; BELTRÃO, 2023).

O gergelim é valorizado por suas sementes com cerca de 50% de óleo de alta qualidade e teor de vitamina B, e por ser essencial na indústria alimentícia para produção de bolos, pães, biscoitos e doces, além de ser importante na indústria oleoquímica e farmacêutica, sendo usado em perfumes, sabonetes e medicamentos (FARIA; SANTOS, 2021; ARAÚJO et al., 2022).

No Brasil, o cultivo do gergelim é tradicionalmente realizado nos estados do Nordeste, além de São Paulo, Minas Gerais e Goiás, sendo este último o maior produtor. O Nordeste brasileiro é uma região de clima semiárido, o qual se destaca pela baixa quantidade de chuvas

ao longo do ano. Tal condição é típica de regiões áridas e semiáridas, as quais possuem características edafoclimáticas com certas particularidades. Nesse contexto, precipitação pluviométrica irregular faz com que seja necessária a utilização da irrigação para suprir as necessidades hídricas das plantas. Porém, um desafio significativo enfrentado na região é a presença de sais na água utilizada para a irrigação, tornando-a salobra (ARAÚJO et al., 2022; ARRIEL et al., 2023; SOUSA et al., 2022).

A irrigação com água salobra pode levar à absorção de íons prejudiciais, pelo fluxo de transpiração, resultando em danos às folhas e impactando negativamente a produção agrícola, desde a germinação das sementes até a produtividade final. O aumento na concentração de sais na água de irrigação pode afetar 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; PENHA et al., 2024).

Outra problemática decorre da escassez de precipitação ao longo do ano na região nordeste, provocando condições de déficit hídrico nas plantas. 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 (CRUZ et al., 2023; SOUSA et al., 2023; CAMPOS, SANTOS e NACARATH, 2021).

Quando combinados, o estresse hídrico e o estresse salino, tais efeitos se agravam, levando à toxicidade iônica, redução do volume celular e desequilíbrio nutricional. Isso refletido em fechamento parcial dos estômatos, aumento da temperatura foliar, redução na altura e número de folhas das plantas (CAMPOS, SANTOS; NACARATH, 2021; CRUZ FILHO, 2024). Por exemplo, na cultura da fava, o crescimento inicial é negativamente impactado pelo aumento da concentração de sais na água de irrigação (1,1; 2,1; 3,1; 4,1; e 5,1 dS m^{-1}), resultando em uma redução na altura da planta e no diâmetro do caule. Essas reduções são ainda mais acentuadas quando o regime hídrico é diminuído de 100% para 50% (PEREIRA FILHO et al., 2020).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do estresse hídrico e salino nas trocas gasosas e no crescimento da cultura do gergelim.

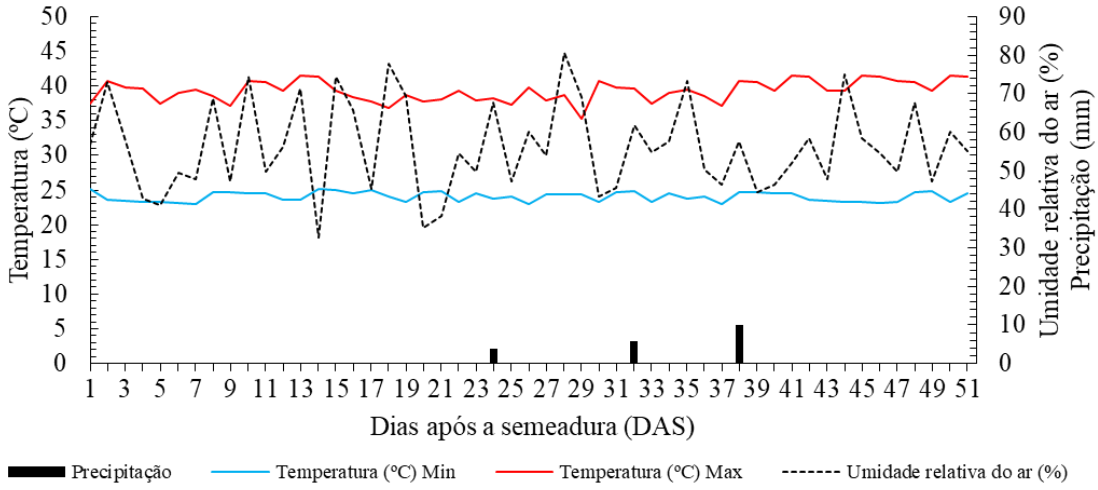
MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de 24 de agosto a 14 de 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, nas coordenadas geográficas de latitude 04°14'53"S, longitude 38°45'10" W, e altitude média de 240 m. O clima da região é do tipo BSh' (clima semi-árido quente) com temperaturas quentes, forte insolação, elevados índices de evaporação e chuvas predominantes nas estações do verão e do outono. (ALVARES et al., 2013)

A umidade relativa, precipitação pluviométrica, e os valores máximos e mínimos de temperatura do ar, foram coletados diariamente durante o experimento (Figura 1) monitorados através de um Data logger (HOBO® U12-012 Temp/RH/Light/Ext).

Figura 1. Valores médios de temperatura máxima (Max), mínima (Min) umidade relativa e precipitação obtidos durante o ciclo experimental.



O solo da área experimental foi classificado segundo a metodologia da EMBRAPA, como Argissolo vermelho-amarelo (SANTOS et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, e enviadas para análise no laboratório de Solo e Água do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, para determinação dos atributos químicos (Tabela 1), conforme metodologia de Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características químicas do solo antes do início do experimento

M.O	N	P	K	Mg	Ca	Na	pH	PST	CEes
------g kg^{-1}------		mg kg^{-1}	g kg-1	----------$cmol_c$ dm^{-3}---------			H_2O	(%)	dS m^{-1}
12,52	0,79	14	0,14	2,5	5,2	0,18	5,6	2	0,9

M.O = matéria orgânica; pH = potencial hidrogeniônico; PST = porcentagem de sódio trocável; CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três 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 ($CaCl_2.2H_2O$), e cloreto de magnésio ($MgCl_2.6H_2O$), 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 ($mmol_c$ L^{-1} = CE x 10) (RHOADES, KANDIAH E MASHALI, 2000). A condutividade da água foi medida periodicamente com um condutivímetro (AZ® 806505 pH/Cond./TDS/Sal).

As sementes de gergelim foram semeadas manualmente seguindo o espaçamento de 1,0 m entre linhas x 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}, com a finalidade de uniformizar o tempo de irrigação, atendendo os regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, 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. A evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1} foi calculada a partir da evaporação mensurada no tanque Classe A, pela Equação 1:

$$ETc = ECA \times Kp \times Kc \quad (1)$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1};

ECA - Evaporação medida no tanque classe A, em mm dia^{-1};

Kp - Coeficiente do tanque classe A, adimensional;

Kc - Coeficiente da cultura, adimensional

Foram adotados os seguintes coeficientes da cultura (Kc): 0,6 (até aos 45 DAS) e 0,8 (45 a 51 DAS), conforme Amaral e Silva (2008). Uma fração de lixiviação de 15% foi adicionada à lâmina de irrigação aplicada (AYERS; WESTCOT, 1999), sendo realizado um turno de rega de dois dias. O tempo de irrigação foi obtido usando a Equação 2:

$$Ti = \frac{ETc \times Ep}{Ea \times q} \times 60 \quad (2)$$

Em que:

Ti - Tempo de irrigação (min);

ETc - Evapotranspiração da cultura no período (mm);

Ep - espaçamento entre gotejadores;

Ea - Eficiência de aplicação (0,92);

q - vazão (L h^{-1}).

O manejo da adubação da cultura foi realizado com base na análise química inicial do solo (Tabela 1) a partir de fontes orgânicas (esterco bovino e biofertilizante caprino). Para isso adotou-se a recomendação máxima fornecida por Beltrão et al. (2001), correspondente a: 125 kg ha^{-1} de N, 35 kg ha^{-1} de P_2O5 e 150 kg ha^{-1} de K_2O.

Aos 51 dias após a semeadura, foram realizadas as análises biométricas e fisiológicas onde as variáveis analisadas foram: diâmetro do caule (DC, mm), utilizando um paquímetro digital medindo-se a dois centímetros do solo; número de folhas (NF), obtido a partir de contagem direta das folhas existentes em cada planta; altura de plantas (AP, cm), através da medição com trena, da base até o ápice da planta, e área foliar (AF, cm^2), estimada pelo método não destrutivo, descrito em Pereira (1987), (comprimento versus largura das folhas) multiplicando-se pelo fator de correção (Fc = 0,7). Para determinação da taxa de assimilação de CO_2 (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (gs), concentração interna de carbono (*Ci*), eficiência de uso da água (*EUA*), temperatura da folha (*TF*), as plantas foram avaliadas na terceira folha completamente expandida, contada a partir do ápice, com auxílio de um analisador de gás infravermelho IRGA (LI 6400 XT da LICOR), em sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min^{-1}, além disso, na mesma folha foi medido o índice relativo de clorofila (IRC, SPAD) com o auxílio de um medidor portátil (SPAD-502 Plus, Minolta, Tóquio, Japão). Todas as medições biométricas e fisiológicas, foram feitas entre 09:00 e 11:00 horas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), foram submetidos à análise de regressão no caso de variáveis

quantitativas (condutividade elétrica da água) e à comparação de médias para variáveis qualitativas (regimes hídricos de 50% e 100% da ETc), utilizando-se o programa ASSISTAT 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016). Na análise de regressão, as equações que melhor se ajustaram aos dados foram selecionadas considerando a significância dos coeficientes de regressão, com nível de 1% (**) e 5% (*) pelo teste F, além do maior coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 2 que a interação entre a condutividade elétrica da água e os regimes hídricos afetou significativamente a taxa de assimilação de CO_2 e a transpiração ($p > 0,01$), assim como a temperatura foliar e eficiência do uso da água ($p > 0,05$). Por outro lado, a condutância estomática foi influenciada isoladamente pela condutividade elétrica da água de irrigação ($p > 0,05$), enquanto o índice relativo de clorofila foi afetado apenas pelos regimes hídricos ($p>0,05$).

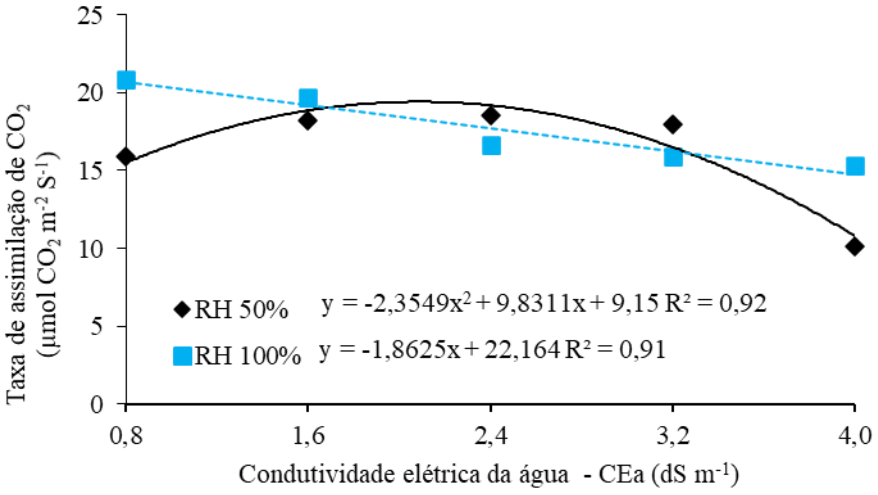
Tabela 2. Resumo da análise de variância para taxa se assimilação de CO_2 (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de carbono (*Ci*), temperatura foliar (*TF*), eficiência do uso da água (*EUA*) e índice relativo de clorofila (*IRC*) de plantas de gergelim cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e regimes hídricos (RH).

Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		A	E	gs	Ci	TF	EUA	IRC
Blocos	3	$2,10^{ns}$	$0,26^{ns}$	$7,66^{ns}$	$287,37^{*}$	$0,55^{ns}$	$0,48^{*}$	$16,71^{ns}$
CEa	4	$48,4^{**}$	$2,68^{**}$	$4,27^{*}$	$1266,75^{**}$	$33,97^{**}$	$4,17^{**}$	$97,05^{ns}$
Resíduo (CEa)	12	4,32	0,47	2,54ns	75,83	0,25	0,13	41,45
Parcelas	19							
Regime Hídrico (RH)	1	$23,36^{*}$	$0,44^{ns}$	$0,11^{ns}$	$210,08^{ns}$	$1,49^{*}$	$0,7^{ns}$	$402,2^{*}$
Resíduo (RH)	15	3,09	0,18	5,56	99,27	0,3	0,19	72,1
CEa x RH	4	$24,96^{**}$	$1,51^{**}$	$10,99^{ns}$	$421,6^{*}$	$1,28^{*}$	$0,79^{*}$	$98,99^{ns}$
Total	39							
CV - CEa (%)	-	12,29	12,77	11,12	2,46	1,66	11,59	16,87
CV - RH (%)	-	10,39	8,06	15,59	2,82	1,83	13,74	12,25

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

A taxa de assimilação de CO_2 em plantas cultivas sob o regime hídrico de 100% da ETc, apresentou uma resposta linear decrescente, com decréscimo médio de 1,86 µmol CO_2 m^{-2} S^{-1} por unidade de aumento da CEa. Já para as plantas cultivadas sob o regime hídrico de 50% da ETc, a taxa de assimilação de CO_2 foi representada pelo modelo matemático polinomial quadrático, apresentando taxa máxima de absorção de 19,43 µmol CO_2 m^{-2} S^{-1} para uma CEa de 2,09 dS m^{-1} (Figura 2).

Figura 2. Taxa de assimilação de CO_2 (*A*) 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.



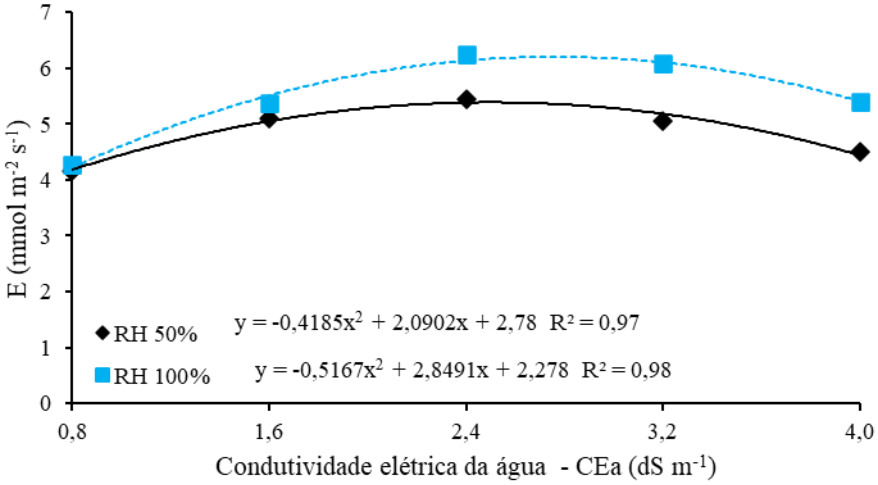
A deposição de sais no solo resultou na redução da taxa fotossintética devido aos efeitos tóxicos dos íons e aos efeitos osmóticos (PRAZERES et al., 2021). Além disso, pode-se observar que as trocas gasosas foliares são geralmente controladas pela abertura dos estômatos para permitir a entrada de CO_2, resultando na perda de água. Portanto, em situações de estresse salino e/ou hídrico, há uma restrição na assimilação de CO_2 (PEREIRA et al., 2019).

Dias et al. (2022), ao estudarem a cultura do gergelim sob diferentes 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, observaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação reduziu a taxa de assimilação de CO_2, com decréscimos médios de 10, 77 µmol CO_2 m^{-2} S^{-1}, por unidade de acréscimo da condutividade elétrica da água de irrigação. No entanto, Pereira et al. (2019), ao

estudarem a cultura do feijão sob diferentes regimes hídricos (50% e 100% da ETC) e diferentes níveis de condutividade elétrica da água (1,1; 2,1; 4,1; e 5,1 dS m^{-1}), também observaram uma redução na taxa de assimilação de CO_2, com diminuição de aproximadamente 3,57 e 1,99 µmol CO_2 m^{-2} S^{-1} por unidade de acréscimo da CEa, para os regimes hídricos de 50% e 100% da ETo, respectivamente.

O aumento da condutividade elétrica 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 3).

Figura 3. Transpiração de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos 100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

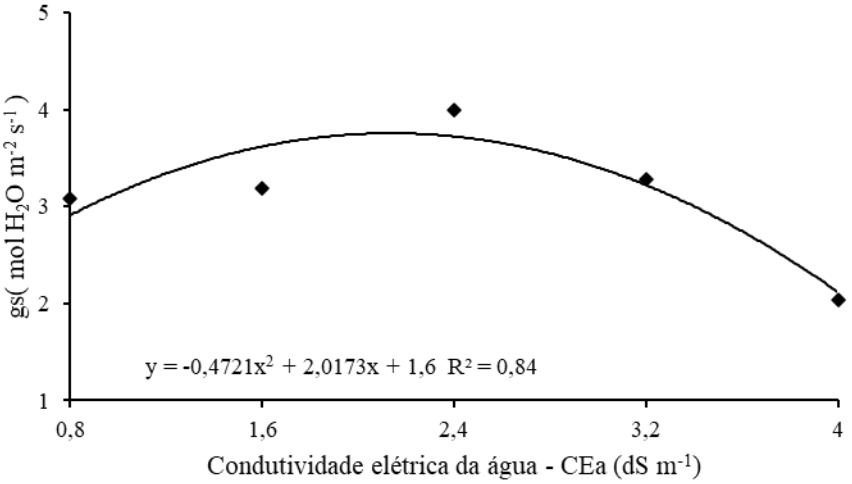


O fechamento dos estômatos é uma consequência dos efeitos de alguns estresses abióticos, como estresse hídrico e/ou salino, que resultam em uma redução na disponibilidade de água, levando à diminuição na transpiração. Esse mecanismo de defesa é empregado pela planta para evitar a perda excessiva de água 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 química 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 (CRUZ et al., 2023; PRAZERES et al., 2015).

Sousa et al. (2018), ao estudarem a cultura da fava irrigada com águas salobras em diferentes níveis de condutividade elétrica (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; e 5 dS m^{-1}), observaram uma redução na transpiração. A variável foi melhor ajustada ao modelo polinomial quadrático, alcançando um máximo de 9,83 mol m^{-2} g^{-1} para uma CEa de 1,81 dS m^{-1}. Similarmente, 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}), observaram 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, e esses dados foram melhor ajustados ao modelo polinomial quadrático, alcançando valor máximo de 3,77 mol H_2O m^{-2} s^{-1} para uma CEa de 2,14 dS m^{-1}. (Figura 4).

Figura 4. Condutância estomática de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 51 dias após a semeadura.

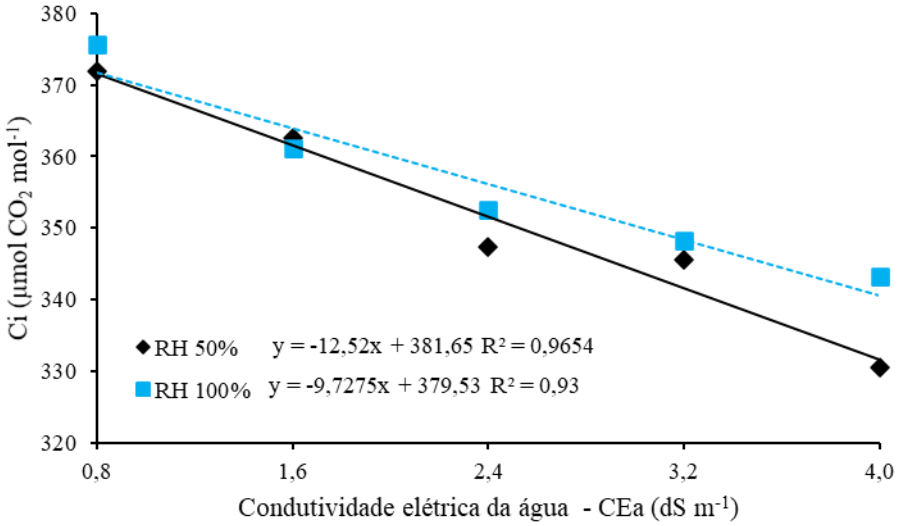


O fechamento parcial dos estômatos, causado pela redução do potencial osmótico da planta e pela disparidade entre a absorção de água pelas raízes e as perdas por transpiração, resultantes dos estresses hídricos e/ou salino é considerado uma estratégia para evitar a perda excessiva de água, e por conseguinte reduzir a transpiração (DIAS et al., 2022; CAMPOS, SANTOS; NACARATH, 2021). Magalhães et al. (2021), ao estudarem a cultura da fava cultivada com águas salinas de diferentes condutividades elétricas (0,5 e 1,6 dS m^{-1}), observaram que a água de maior salinidade resultou em uma redução de 58,33% na condutância estomática em comparação com a água de menor salinidade.

Estes resultados também são similares aos de Dias et al. (2022) que ao estudaram a cultura do gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água observaram que o aumento da condutividade elétrica resultou em uma redução na condutância estomática. Sendo que, os dados foram melhor ajustados ao modelo quadrático, com máxima de 0,1249 mol H_2O m^{-2} s^{-1} para uma CEa de 0,3 dS m^{-1} e um mínimo de 0,1138 mol H_2O m^{-2} s^{-1} para uma CEa de 2,2 dS m^{-1}.

A concentração interna de CO_2 foi afetada negativamente pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Vale destacar que as respostas das plantas cultivadas sob os regimes hídricos de 50% 100% da ETc ajustaram-se ao modelo linear decrescente, com decréscimos médios de 12,52 µmol CO_2 mol^{-1} e 9,73 µmol CO_2 mol^{-1} por unidade de aumento da CEa nos regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, respectivamente (Figura 5).

Figura 5. Concentração interna de carbono de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos 100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

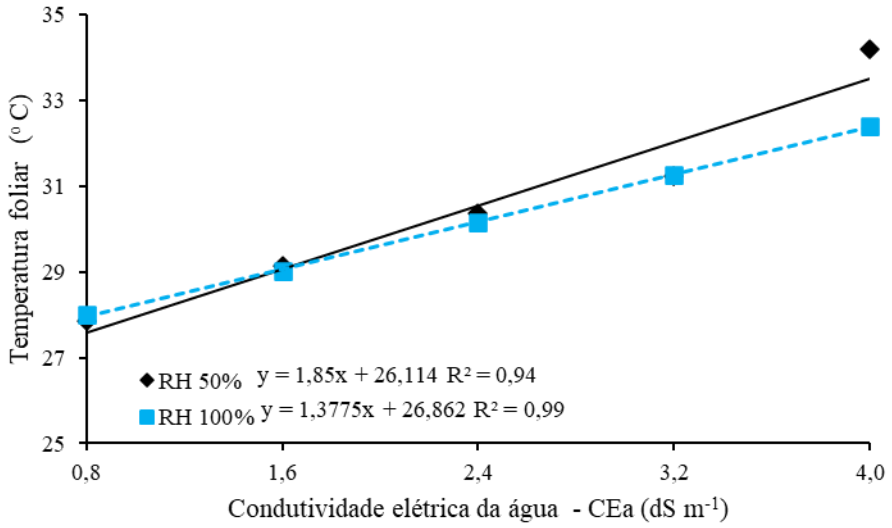


O estresse hídrico em conjunto com a salinidade da água pode levar a uma situação de redução da concentração interna de CO_2. Isso ocorre porque o estresse salino intensifica o potencial osmótico do solo, diminuindo assim a absorção de água e, por conseguinte, a assimilação de CO_2. Além disso, pode ocorrer uma concentração deste gás no mesófilo foliar durante o período de estresse que resulta na pouca assimilação do CO_2 para a produção de açucares (BARBOSA et al., 2022; SOUSA et al., 2022).

Resultados semelhantes foram encontrados por Amaral et al. (2021) onde as trocas gasosas da cultura do girassol em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da água (0,6 e 3,0 dS m^{-1}) e dos regimes hídricos (25; 50; 75 e 100 % da ETc) apresentaram redução na concentração interna de CO_2. Os resultados desta pesquisa também estão em consonância com os que foram encontrados por Sales et al. (2021), que ao investigarem a cultura do quiabo sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5 e 5,0 dS m^{-1}), constataram que a água de maior salinidade resultou em uma diminuição na concentração interna de CO_2.

Os dados referentes a temperatura foliar foram melhor descritos pelo modelo matemático linear crescente, com acréscimos de 1,85 ºC e 1,37 ºC por unidade de aumento da condutividade elétrica da água, para os regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, respectivamente. Vale ressaltar que para o regime hídrico de 50% da ETc, foi observada uma temperatura foliar de 27,59 ºC para a condutividade elétrica mínima (0,8 dS m^{-1}), e uma temperatura de 33,52 ºC para a condutividade elétrica máxima (4,0 dS m^{-1}). Enquanto isso, no regime hídrico de irrigação plena, a condutividade elétrica mínima (0,8 dS m^{-1}) resultou em uma temperatura de 27,96 ºC e a máxima (4,0 dS m^{-1}) resultou em uma temperatura de 32,37 ºC (Figura 6).

Figura 6. Temperatura foliar de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos 100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.



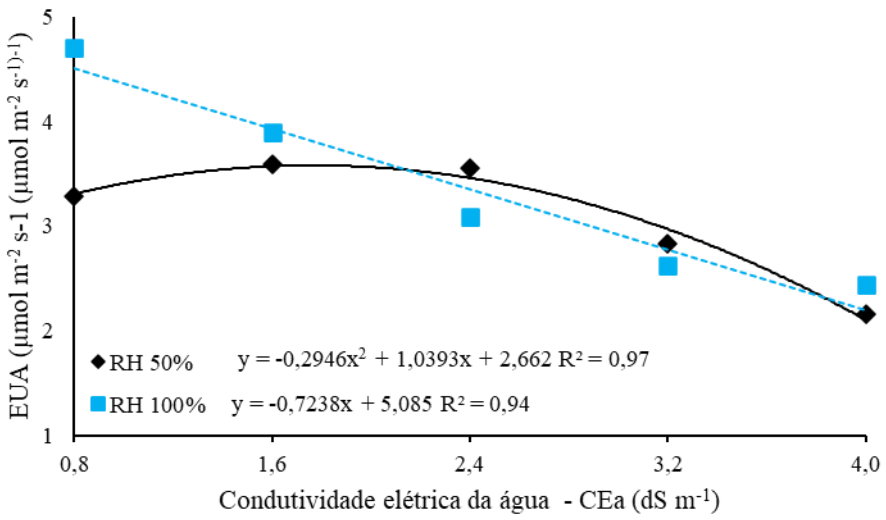
A redução nos valores de transpiração observados na cultura do gergelim no presente estudo (Figura 3) pode justificar tal resultado, principalmente sob os maiores níveis de salinidade pois a água atua como um regulador térmico das plantas. Sendo assim, quando há

uma diminuição na sua absorção devido ao estresse hídrico e/ou salino, isso pode resultar no aumento da temperatura interna da planta (JATOBÁ; SILVA, 2020; SOUSA et al., 2021). Por outro lado, durante o dia, as plantas absorvem mais radiação (visível e infravermelho) do que emitem. Essa absorção é compensada pela perda de calor latente por meio da transpiração e pela transferência de calor para o ar, por convecção. Em plantas sob estresse hídrico o fechamento parcial dos estômatos e a pouca passagem de água por eles diminui as trocas de calor latente, ocasionando um aumento da temperatura foliar (GRÄF et al., 2021).

Sousa et al. (2024), ao investigarem os efeitos de águas salobras (1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 dS m^{-1}) e diferentes regimes hídricos (53%, 67%, 85% e 95% da ETc) na cultura do sorgo doce, observaram um efeito significativo e isolado do estresse salino sobre a temperatura foliar. Diferente dos resultados encontrados nesta pesquisa, Freitas et al. (2021) ao estudarem os efeitos do estresse salino na fisiologia da cultura do amendoim sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (0 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; e 5,0 dS m^{-1}), em um regime hídrico de irrigação plena, observaram decréscimos na temperatura foliar com o aumento da condutividade elétrica da água, ou seja, os dados foram descritos pelo modelo polinomial quadrático, atingindo máximo de 32,69 ºC.

A eficiência do uso da água foi negativamente afetada pelo aumento da condutividade elétrica, nos regimes hídricos de 100% e 50% da ETc, porém, com mais intensidade neste último, o qual se adequou melhor a um modelo polinomial quadrático apresentando uma eficiência máxima do uso da água para uma CEa de 3,58 [µmol m^{-2} s^{-1} (µmol m^{-2} $s^{-1)\,-1}$] para a condutividade elétrica da água de 1,76 dS m^{-1}. O regime hídrico de 100% da ETc, por sua vez, foi melhor representado por um modelo linear decrescente, com decréscimo médio de 0,7238 [µmol m^{-2} s-1 (µmol m^{-2} $s^{-1)\,-1}$] por unidade de incremento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 7).

Figura 7. Eficiência do uso da água em plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos 100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

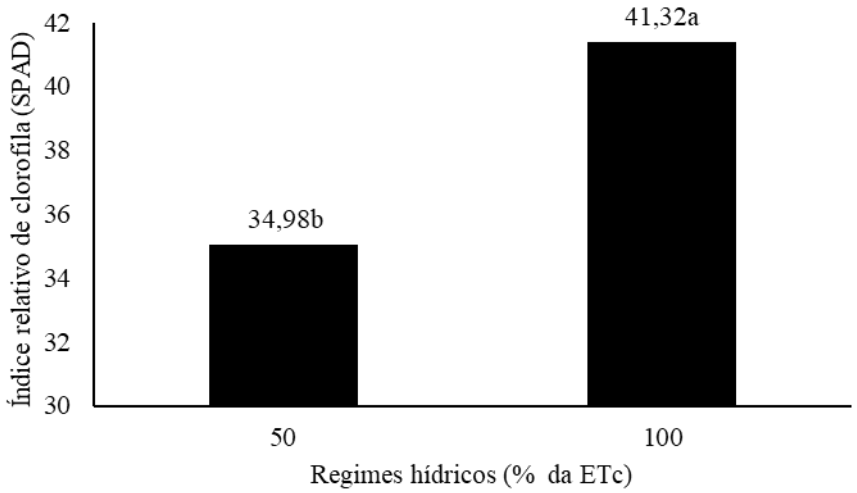


A baixa absorção de água e de íons específicos, decorrentes do aumento na concentração de sais da água de irrigação, pode estar relacionada ao decréscimo da eficiência do uso da água (LESSA et al., 2021; LIMA et al., 2018). Todavia, plantas sob estresse hídrico tendem a adotar estratégias para um uso mais conservador da água. Isso inclui o desenvolvimento de mecanismos de sobrevivência, Como o fechamento parcial dos estômatos, regulação das perdas por transpiração, diminuição do número de folhas e da área foliar, etc. Esses mecanismos resultam em uma maior eficiência do uso da água pela planta (CAMPOS, SANTOS; NACARATH, 2021; ZHAO et al., 2020).

Sousa et al. (2024) estudaram os efeitos de diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m^{-1}) e diferentes regimes hídricos (56%, 67%, 85% e 95% da ETc) na cultura do sorgo doce, e verificaram que os maiores e menores valores de eficiência do uso da água, 23,96 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (µmol H_2O m^{-2} s^{-1}) $^{-1}$ e 20,16 µmol m^{-2} s^{-1} (µmol m^{-2} s^{-1}) $^{-1}$, foram alcançados com uma condutividade elétrica da água de irrigação de 4,5 dS m^{-1} e 3,0 dS m^{-1}, respectivamente. Ao estudarem a eficiência instantânea do uso da água na cultura do milho cultivada sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (0,3 e 3,0 dS) em um regime hídrico de irrigação plena, Sousa et al. (2023) verificaram que o aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a eficiência do uso da água.

A redução do regime hídrico de 100% para 50% da ETc resultou em uma diminuição de 84,66% no índice relativo de clorofila (Figura 8).

Figura 8. Índice relativo de clorofila de plantas de gergelim sob regimes hídricos de 100 % e 50% da ETc aos 51 dias após a semeadura.



Em condições de baixa disponibilidade hídrica, a atividade enzimática da clorofilase pode ser ativada, resultando na degradação das moléculas de clorofila e induzindo a destruição dos cloroplastos, ou também pode ocorrer redução na atividade enzimática da protoclorofila redutase, dificultando que a molécula percursora de clorofila (protoclorofila) se converta neste pigmento (TAIZ et al., 2017 SILVA et al., 2020).

Pereira et al. (2019) observaram um efeito isolado dos regimes hídricos no índice relativo de clorofila na cultura do feijão sob estresse hídrico e salino. Eles verificaram que a redução do regime de 100% para 50% da ETc teve um impacto negativo sobre essa variável. Em contraste com os resultados desta pesquisa, Sousa et al. (2023), ao estudar a cultura do milho sob diferentes regimes hídricos (50%, 75% e 100% da ETc), verificaram que a redução no fornecimento de água não teve um efeito negativo sobre o índice relativo de clorofila.

Observa-se na análise de variância apresentada na Tabela 3 que as variáveis altura de plantas, diâmetro do caule, e área foliar foram significativamente influenciadas pela interação entre os fatores condutividade elétrica da água e os regimes hídricos ($p > 0,01$). Por outro lado, o número de folhas sofreu influência da interação entre os mesmos fatores ($p > 0,05$).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), e área foliar (AF) de plantas de gergelim cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e regimes hídricos (RH).

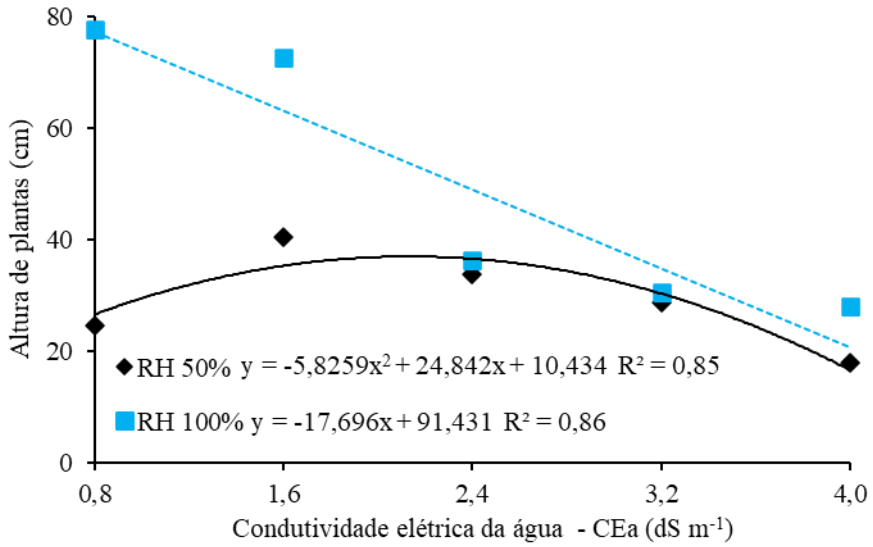
Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		AP	NF	DC	AF
Blocos	3	$183,53^{ns}$	$13,15^{ns}$	$0,29^{ns}$	$332,03^{ns}$

CEa	4	1999,14**	190,06**	9,18**	4269,03**
Resíduo (CEa)	12	316,19	19,73	1,68	485,62
Parcelas	19				
Regime Hídrico (RH)	1	4050,35**	120,2**	30,38**	16397,71**
Resíduo (RH)	15	67,46	9,13	0,68	185,89
CEa x RH	4	1002,57**	38,63*	4,82**	3120,74**
Total	39				
CV - CEa (%)	-	16,67	15,45	16,06	19,64
CV - RH (%)	-	11,56	14,11	17,28	18,53

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

A altura de plantas apresentou resposta linear decrescente, sob o regime hídrico de 100% da ETc, com decréscimo de 17,69 cm por unidade de aumento da CEa. Já sob o regime hídrico de 50% da ETc, a altura de plantas se ajustou ao modelo quadrático, mostrando altura máxima de 36,92 cm para CEa de 2,13 dS m^{-1} (Figura 9).

Figura 9. Altura 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.



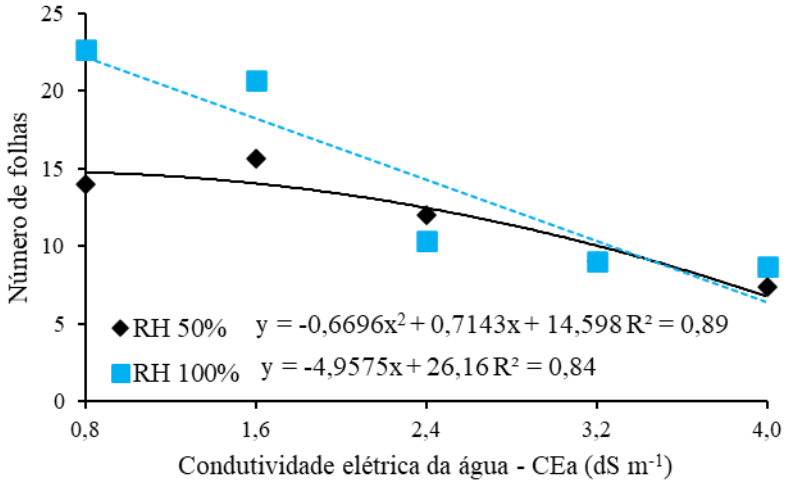
O excesso de sais no solo aumenta o seu potencial osmótico, causando a redução da absorção de água pelas plantas, e consequentemente inibe a absorção de alguns nutrientes. Isso explica a redução da altura de plantas com o aumento da condutividade elétrica da água. Estes efeitos podem ser intensificados quando ocorre a associação entre os estresses hídrico e salino,

pois, a redução hídrica por sua vez, pode inicialmente afetar drasticamente alguns processos vitais. A divisão e expansão celular estão entre os primeiros processos impactados quando há uma redução hídrica moderada. Consequentemente, o crescimento foliar e do caule diminui antes mesmo do estresse hídrico se tornar severo o suficiente para causar o fechamento parcial dos estômatos ou redução na taxa fotossintética (RODRIGUES et al., 2018; PAIVA et al., 2020).

Dias et al. (2017) trabalhando com a cultura do gergelim (cultivar CNPA G3), submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m^{-1}) verificaram que a altura de plantas diminuiu com o incremento da condutividade elétrica. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira Filho et al. (2020) que também verificaram diminuição da altura de plantas na cultura da fava, influenciada pela ação conjunta dos fatores salinidade da água de irrigação (1,1; 2,1, 3,1, 4,1 e 5,1 dS m^{-1}) e regimes hídricos de 50% e 100% da ETc.

O número de folhas sofreu uma redução causada pelo aumento da concentração de sais em ambos os regimes hídricos utilizados (50% e 100% da ETc), sendo que sob o regime de irrigação plena, a resposta foi linear decrescente, com decréscimo médio de 4,95 por unidade de aumento da CEa. Ao passo que, para o regime hídrico de 50% da ETc, a resposta das plantas foi melhor representada por uma equação quadrática, apresentando um valor máximo de aproximadamente 14 folhas, para uma condutividade de 0,53 dS m^{-1} (Figura 10).

Figura 10. Número de folhas de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos 100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

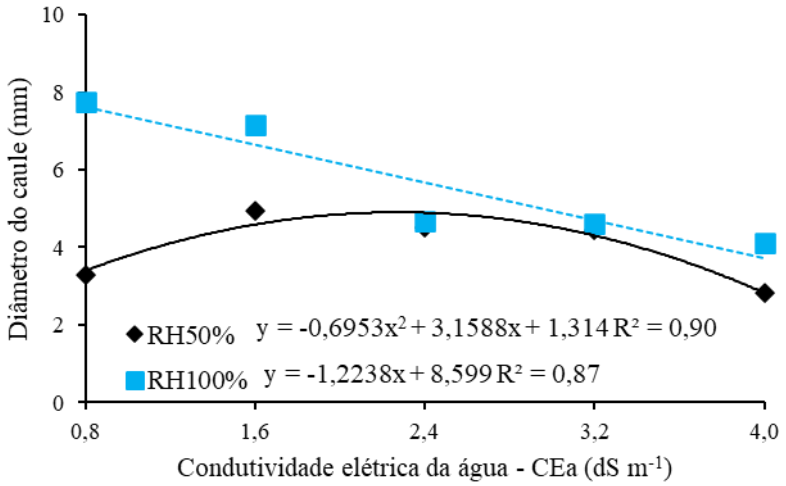


O comprometimento da absorção de água pela planta, especialmente quando combinado com outros estresses, como por exemplo o estresse salino, pode levar a alterações morfológicas e fisiológicas significativas, resultando em plantas de menor porte. Nesse contexto, a redução do número de folhas pode ser interpretada como parte dos mecanismos de defesa e adaptação que a planta desenvolve em resposta a condições de estresse. Essas adaptações incluem a diminuição do crescimento da parte aérea e uma redução na eficiência fotossintética, como estratégias para minimizar o impacto negativo causado pela diminuição da absorção de água (CAMPOS; SANTOS; NACARATH, 2021).

Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa et al. (2022) ao avaliarem o crescimento inicial da cultura do amendoim sob condições de estresse hídrico e salino combinados, verificando que o número de folhas foi reduzido, em resposta ao aumento da condutividade elétrica da água (1,0; 2;0; 3,0; 4.0 e 5,0 dS m^{-1}). Similarmente, Pereira Filho et al., (2020) ao trabalharem com a cultura da fava cultivada sob condições de estresse hídrico e salino combinados, verificaram que o aumento da condutividade elétrica de água de irrigação (1,1; 2,1, 3,1, 4,1 e 5,1 dS m^{-1}) diminuiu o número de folhas, com decréscimos de 2,7 e 1,9 por unidade de aumento da condutividade elétrica, para os regimes hídricos de 100% e 50% da ETc, respectivamente.

O diâmetro do caule foi reduzido com o aumento da CEa em ambos os regimes utilizados. O modelo linear decrescente foi o que melhor descreveu a resposta das plantas cultivadas sob o regime hídrico de 100% da ETc, evidenciando decréscimo médio de 1,22 mm por unidade de aumento da salinidade da água. Enquanto o modelo polinomial quadrático foi o mais adequado para o regime hídrico de 50% da ETc, obtendo-se um diâmetro máximo de 4,90 mm, para uma condutividade de 2,27 dS m^{-1} (Figura 11).

Figura 11. Diâmetro do caule de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos -100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.

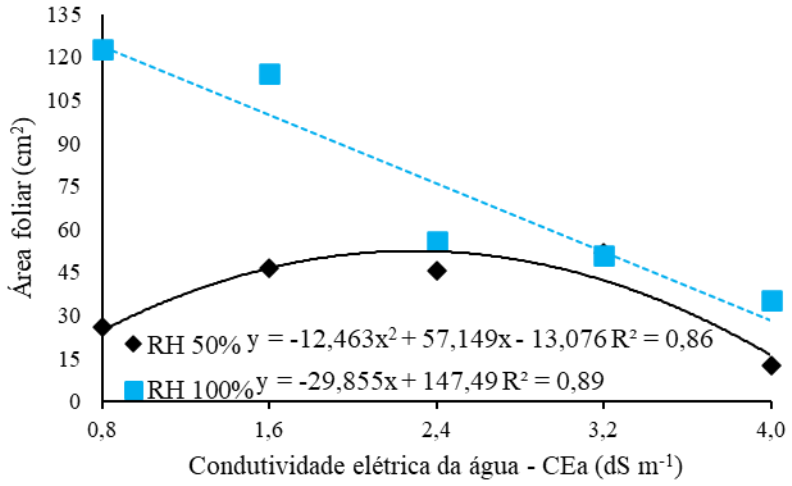


O estresse hídrico provoca redução na divisão celular, resultando em um decréscimo no desenvolvimento da planta. Paralelamente, A pouca absorção de água e nutrientes resultantes do estresse salino, contribui para maximizar a redução do diâmetro do caule (BARBOSA et al., 2022; PRAZERES et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014).

Pereira Filho et al. (2020), avaliando o crescimento inicial da cultura da fava sob estresse hídrico e salino, observaram também uma diminuição no diâmetro do caule conforme o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (1,1; 2,1, 3,1, 4,1 e 5,1 dS m^{-1}), com decréscimos de 0,35 e 0,29 mm para os regimes hídricos de 100% e 50% da ETc, respectivamente. Os resultados do presente estudo também estão em consonância com os encontrados Lessa et al. (2020), que verificaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (2,0; 5,0 dS m^{-1}) reduziu o diâmetro do caule da cultura do amendoim.

A área foliar da cultura do gergelim, reduziu de maneira linear decrescente sob o regime hídrico de 100% da ETc, a partir do incremento da salinidade da água, evidenciando decréscimo médio de 29,855 cm^2 por unidade de aumento da CEa. Por outro lado, as plantas cultivadas sob o regime hídrico de 50% da ETc, de acordo com o desdobramento da equação polinomial apresentaram área foliar máxima de 52,44 cm^2 para uma condutividade elétrica de 2,29 dS m^{-1} (Figura 12).

Figura 12. Área foliar de plantas de gergelim sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos -100 % (■) e 50% (♦) da ETc aos 51 dias após a semeadura.



Em plantas glicófitas sujeitas a condições de salinidade, a diminuição da área foliar é uma das primeiras respostas observadas devido aos esforços das plantas para se adaptarem e aclimatarem aos efeitos osmóticos e à toxidez dos sais (SOUSA et al., 2022) Além disso, o fechamento parcial dos estômatos com o objetivo de minimizar a transpiração, é um importante mecanismo empregado pelas plantas sob condições de estresse hídrico e/ou salino, assim, sob condições de estresse, as plantas utilizam deste mecanismo de adaptação, contudo, ocorrem gastos metabólicos e energéticos que minimizam o desenvolvimento de novos órgãos bem como a expansão foliar (SOUSA et al., 2019).

Pereira Filho et al. (2020), ao avaliarem o crescimento da cultura da fava em resposta a diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (1,1; 2,1, 3,1, 4,1 e 5,1 dS m^{-1}) e aos regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, observaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação diminuiu a área foliar, com maiores reduções observadas no regime de 50% da ETc. Em consonância com estes resultados, Silva Júnior, Bezerra e Silva (2021) identificaram decréscimos significativos na área foliar ao avaliar o crescimento de cultivares de feijão-caupi em função da salinidade da água de irrigação.

CONCLUSÕES

Independentemente do regime hídrico utilizado, o aumento da salinidade da água de irrigação a partir de 2,15 dS m^{-1} reduziu a transpiração, concentração interna de CO_2, eficiência do uso da água, altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, e a taxa de assimilação de CO_2 da cultura do gergelim, porém com maior intensidade sob regime de 50% da ETc.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift**, v. 6, pág. 711-728, 2013.

AMARAL, A. M. et al., Physiological response of sunflower in the reproductive phase to water and salt stress. **Revista Research, Society and Development**, v.10, p.1-10, 2021.

AMARAL, J. A. B. D.; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 12, n. 1, p. 25-33, 2008.

ARAÚJO, A. et al. **Gergelim: importância socioeconómica**. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/gergelim/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Suas%20sementes%20cont%C3%AAm%20cerca%20de,aplica%C3%A7%C3%B5es%20na%20ind%C3%BAstria%20aliment%C3%ADcia%2C%20para>. Aces so em: 07/03/2024.

ARRIEL, Nair H. C.; BELTRÃO, N. E. M. **Cultivo do gergelim**. Campina grande-PB: Embrapa Algodão, 2023. 46 p

ARRIEL, Nair Helena Castro et al. **A cultura do gergelim**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 72 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, PB: UFPB. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V., 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).

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.

BELTRÃO, N.E. M; SOUZA. J.G.; PEREIRA, J.R. Preparo do solo, adubação e calagem In: BELTRÃO, N.E. de M.; VIEIRA, D.J. **O agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2001. 348 p.

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.

CRUZ FILHO, E. M. et al. Estratégias de irrigação com água salobra e adubação na cultura do amendoim. **Nativa**, v. 12, p. 20-25, 2024.

CRUZ, Natan Teles et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Revista Científica Rura**l, v.25, nº 1, p.221-238, 2023.

DIAS, A. S. et al. Emergência, crescimento e produção de gergelim sob estresse salino e proporções de nitrato e amônio. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 458-467, 2017.

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.

FARIA, G. e SANTOS, E. **Cultivo do gergelim no Brasil cresce 230% em um ano**. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-geral?p_p_id=buscageral_WAR_pcebusca6_1portlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_buscageral_WAR_pcebusca6_1portlet_javax.portlet.action=buscar&_buscageral_WAR_pcebusca6_1portlet_delta=10 >. Acesso em: 07 de março de 2024.

FREITAS, A. G. S. et al., Morfofisiologia da cultura do amendoim cultivado sob estresse salino e nutricional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 15, p.48, 2021.

GRÄF, M. et al. Water-stressed plants do not cool: Leaf surface temperature of living wall plants under drought stress. **Sustainability**, v. 13, p. 3910, 2021.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F. **Tópicos especiais de climatologia**.1 ed. Ananindeua, PA: Editora Itacaiúnas, 2020. 113 p.

LESSA, C. I. N. et al. Influência da cobertura morta vegetal e da salinidade sobre as trocas gasosas de genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.15, p. 88-96, 2021.

LESSA, C. I. N. et al. Salt stress in the early development stage of peanut genotypes**. Revista de Ciências Agroveterinárias**, v21, p. 442-448, 2022.

LIMA, G. S. et al. Saline water irrigation and nitrogen fertilization on the cultivation of colored fiber cotton. **Revista Caatinga**, v.31, p.151- 160, 2018.

MAGALHÃES, C. L. et al. Adubação nitrogenada e estresse salino na cultura da fava. **Revista Brasileira De Agricultura Irrigada**, v. 15, p. 58-64, 2021.

OLIVEIRA, F. A. D. et al., Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.8, p.222-229, 2014.

PAIVA, F. J. S. et al. Influência da salinidade da água de irrigação na qualidade de sementes no semiárido paraibano. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, p. 45-50, 2020.

PENHA, D. M. et al. Uso de mitigadores do estresse salino em cultivo de alface semi-hidropônico. **Revista Semiárido De Visu**, v. 12, p.119-135, 2024.

PEREIRA FILHO, J. V. et al. Crescimento inicial da cultura da fava irrigada sob estresse salino e hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, p. 4036-4046, 2020.

PEREIRA, Antonio Roberto. Estimativa da área foliar em milharal**. Bragantia**, v. 46, p. 147-150, 1987.

PEREIRA, J. V. et al. Physiological responses of lima bean subjected to salt and water stresses. **Revista Bruasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 959-965, 2019.

PRAZERES, S. S. et al., Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@mbiente**, v.9, p.111-118, 2015.

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).

RODRIGUES, D. S. et al. Desempenho de plantas de soja em função do vigor das sementes e do estresse hídrico. **Revista Científica Rural**, v. 20, p. 144-158, 2018.

SALES, J. R. S. et al., Physiological indices of okra under organomineral fertilization and irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.466-471, 2021.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (5a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa solos. 2018.

SILVA JÚNIOR, J. V. D.; BEZERRA, A. A. C.; SILVA, E. M. Crescimento e desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi em função da salinidade da água de irrigação. **Irriga**, v. 26, p. 343-366, 2021.

SILVA, C. B. D. et al. Teor de clorofila, carotenoides e índice SPAD na alface (Lactuca sativa) em função de lâminas de irrigação e níveis salinos**. Revista Ciência Agrícola**, v. 18, p. 19-22, 2020.

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 Researche**, Campina Grande, v. 11, p. 3733-3740, 2016.

SOUSA, G. G. D. et al. Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 3078-3089, 2019.

SOUSA, G. G. D. et al. Trocas gasosas na cultura da fava irrigada com águas salinas. **Irriga**, v. 1, p. 19-23, 2018.

SOUSA, H. C. et al. *Bacillus aryabhattai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological System. **Agriculture**, v. 13, p. 1150, 2023.

SOUSA, J. T. M.et al., Physiological responses of peanut crops to irrigation with brackish waters and application of organo-mineral fertilizers. Revista **Caatinga**, v.34, p.682-391, 2021.

SOUSA, L. V. D. et al. Effects of saline and water stress on sweet sorghum. **DYNA**, v. 91, p. 69-75, 2024.

TAIZ, L et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Artmed, 2017. 888p.

TEIXEIRA, P. C et al. **Manual de métodos de análise de solo.** 3.ed. Brasília, Distrito Federal: Embrapa, 2017. 573p.

ZHAO, W. et al., Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. **Water**, v. 12, p. 2127, 2020.