



Crescimento morfológico foliar de girassol em resposta à água magnetizada e níveis de reposição hídrica

Alisson Macendo AMARAL *¹ , Ana Flávia Cordeiro de BRITO ¹ ,
Maria Ângela Cruz Macêdo dos SANTOS ² , Daniel Rodrigues da SILVA ¹ 

¹ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Arinos, MG, Brasil.

² Instituto Mineiro de Agropecuária, Buritis, MG, Brasil.

*E-mail: alisson.amaral@ifnmg.edu.br

Submetido em: 15/07/2024; Aceito em: 21/01/2025; Publicado em: 05/03/2025.

RESUMO: A superfície foliar é a estrutura vegetal mais importante do girassol e sua interação com fatores como disponibilidade de água e tecnologias não convencionais de irrigação melhora o entendimento do uso da água pela cultura. Avaliou-se as alterações foliares de girassol quando submetido a irrigação variável aliada a campo magnético. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, em arranjo fatorial 4 x 2 com 4 repetições, sendo 4 reposições hídricas (100, 75, 50 e 25% - RH) e 2 tipos de água de irrigação (normal e magnetizada). As RH foram determinadas por meio da evapotranspiração real da cultura. Avaliou-se a taxa de crescimento relativo médio (\overline{R}_A), taxa assimilatória líquida (\overline{E}_A), área foliar específica (S_A), índice de área foliar (IAF) e duração de área foliar (D_A). Para todas as variáveis foram ajustadas funções de resposta hídrica com base em RH. Observou-se reduções em \overline{R}_A , S_A , D_A , \overline{E}_A e IAF devido a menor disponibilidade hídrica causada pela elevação da condutividade elétrica da água magnetizada. É necessária maior RH magnetizada do que RH normal para obter a maior \overline{R}_A . Maiores RH resultam em maiores \overline{R}_A até os limites máximos de IAF de 7,8 (água normal) e 9,0 (água magnetizada). Houve relação inversa entre \overline{E}_A e IAF devido ao auto-sombreamento e a redução da eficiência fotossintética de folhas senes. A S_A mostrou relação linear com a RH e a D_A alcançou um pico de 17 dias com a RH de 88,30%.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.; cultivo protegido; índice de área foliar.

Morphological leaf growth of sunflower in response to magnetized water and water replacement levels

ABSTRACT: The leaf surface is the most important plant structure of sunflowers, and its interaction with factors such as water availability and unconventional irrigation technologies improves the understanding of water use by the crop. The leaf changes of sunflowers when subjected to variable irrigation combined with a magnetic field were evaluated. The study was conducted in a randomized block design greenhouse in a 4 x 2 factorial arrangement with four replications, four water replacements (100, 75, 50 and 25% - RH) and two types of irrigation water (normal and magnetized). The RH was determined using the actual crop evapotranspiration. Evaluated the average relative growth rate (\overline{R}_A), net assimilation rate (\overline{E}_A), specific leaf area (S_A), leaf area index (LAI) and leaf area duration (D_A) were evaluated. For all variables, water response functions were adjusted based on RH. Reductions in \overline{R}_A , S_A , D_A , \overline{E}_A and LAI were observed due to lower water availability caused by the increase in the electrical conductivity of magnetized water. A higher magnetized RH than normal RH is necessary to obtain the highest \overline{R}_A . Highest RH results in high \overline{R}_A , up to the maximum L limits of 7.8 (normal water) and 9.0 (magnetized water). There was an inverse relationship between (\overline{E}_A) and L due to self-shading and reduced photosynthetic efficiency of senescent leaves. S_A showed a linear relationship with RH, and D_A reached a peak at 17 days with a RH of 88.30%.

Keywords: *Helianthus annuus* L.; greenhouse; leaf area index.

1. INTRODUÇÃO

A família Asteraceae compõe as plantas com flores com grande diversidade de formas e de aparência, tal como o girassol (*Helianthus annuus* L.), que é considerada a quarta oleaginosa mais importante do mundo e amplamente cultivada em países com climas temperados e tropicais, devido a sua adaptabilidade (CARVALHO et al., 2024; SOUSA FILHO et al., 2024). Nas últimas décadas, o aumento das mudanças climáticas e a demanda global por alimento e energia impulsionou o interesse no girassol como

uma alternativa aos combustíveis fósseis limitados, pois, a biomassa dessa planta pode ser usada como fonte de energia sustentável e renovável. Além disso, o girassol pode ser usado como planta ornamental, nas indústrias farmacêuticas, têxtil e alimentícias; matéria-prima, forragem, tintas corporais, decorações, dentre outros (AGÜERA; HABA, 2021; NGUYEN et al., 2021; SOOTHAR et al., 2021).

Toda essa mudança climática, exploração de recursos energéticos e produção agrícola altera o uso da terra e,

consequentemente, a disponibilidade e a qualidade da água, recurso este imprescindível para a agricultura irrigada. Em meio a estas preocupações crescentes, a escassez de água e a segurança alimentar estão entre os principais problemas enfrentados pela sociedade, gerando um desafio global para o setor agrícola, que é produzir mais com menos água. O caminho para isso são estratégias de manejo da agricultura irrigada, como a irrigação deficitária e tecnologias não convencionais (SOOTHAR et al., 2021).

As irrigações deficitárias podem induzir comportamentos benéficos e/ou deletérios nas culturas, a depender da espécie, do estágio de desenvolvimento e do genótipo. Menciona-se impactos endógenos do déficit hídrico na condutância estomática e transpiração (Souque et al., 2024), na síntese de metabólitos (Andrade et al., 2021), na geração de estresse oxidativo por meio das espécies reativas de oxigênio (EROS) e, também, impactos exógenos, sendo o principal a regulação de crescimento (Mehak et al., 2021), com destaque para as alterações causadas nas folhas. Toda a estrutura foliar das plantas são mais sensíveis à disponibilidade de água do que as outras estruturas aéreas, visto que os estômatos dependem da pressão de turgor para seu funcionamento.

A variação de água no solo pode interferir no crescimento foliar, no índice de área foliar, no índice de colheita, na turgescência e potencial hídrico foliar e, consequentemente, no rendimento ideal do girassol. Obviamente, essas interferências dependem se o genótipo é tolerante ou sensível à deficiência hídrica (SMAEILI et al., 2022). Na literatura atual, a irrigação tem sido associada a tecnologias promissoras com o intuito de mitigar efeitos negativos de um menor potencial de água no solo, como por exemplo, o campo magnético induzido.

O uso de água magnetizada tem sido considerado uma possibilidade, tanto para economizar recursos hídricos, quanto para aumentar a produtividade e a qualidade das culturas (PIZZETA et al., 2021). Para Generoso et al. (2017), são benefícios dessa técnica: a otimização da quantidade e qualidade da água na agricultura irrigada, a melhora no desenvolvimento e produtividade de plantas, maior disponibilidade de nutrientes, dentre outras. Embora já tenham sido reportadas melhorias em alguns cultivos como pimenta (Versiani et al., 2021), melancia (Yusuf et al., 2020), espinafre (Fayed et al., 2021) e batata (Rahimian; Zabihi, 2021); o campo magnético não surtiu efeitos significativos em baru (Mendes et al., 2020) e girassol (Pizzeta et al., 2021). A observância de efeitos benéficos e/ou deletérios nas plantas pode também estar associada a outros fatores, como disponibilidade e qualidade de água, intensidade do campo magnético, mudança nos parâmetros físicos da água tratada magneticamente e disponibilidade de nutrientes via solução do solo. As potencialidades do tratamento magnético da água aplicada em diversos cultivos, nos últimos anos, e sua perspectiva futura para o uso desta tecnologia, foi amplamente discutida por Dobránszki (2024) e pode ser considerada como alternativa aos métodos tradicionais de irrigação (ABDELGHANY et al., 2022).

As condições de contorno dos estudos podem gerar respostas diversas da variação de água do solo e dos tipos de água nos genótipos, logo, mais investigações são necessárias para entender como a interação desses fatores interferem no crescimento dos cultivos.

Portanto, o trabalho objetivou analisar os efeitos da água tratada magneticamente na irrigação deficitária e plena do girassol. Esses efeitos foram averiguados por meio do

crescimento foliar, avaliando a área foliar, as massas secas foliares, a taxa de crescimento relativo, a taxa assimilatória líquida, a área foliar específica, a duração de área foliar e o índice de área foliar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e desenho experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na área experimental do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Arinos, com latitude 15° 55' 12,75" S, longitude 46° 8' 5,57" O e altitude de 525,0 m. O clima do local é caracterizado como C2wA'a', ou seja, megatérmico subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno (Oliveira & Oliveira, 2018). A casa de vegetação possuía 10 m de largura x 24 de comprimento x 7 metros de altura. A casa de vegetação foi revestida em sua parte superior com polietileno translúcido de 150 µm de espessura e as laterais por tela sombrite® com 35% de sombreamento. A face longitudinal da casa de vegetação era alinhada com as direções leste e oeste.

O desenho experimental usado foi o de blocos ao acaso - DBC e organizados em arranjo fatorial 4 x 2 com 4 repetições, sendo o fator A: 4 reposições hídricas (100, 75, 50 e 25% - RH) e o fator B: 2 tipos de água de irrigação (água normal de abastecimento e água magnetizada). Um nível de 125% de RH não foi adicionado ao delineamento, pois, teores de umidade acima da capacidade de campo tendem a percolar e causar lixiviação em volumes reduzidos de solo, como no caso de experimento em vasos.

Para o plantio, utilizou-se como material vegetal o girassol, cultivar (cv.) BRS 323. Vasos com volume de 25 L foram usados com uma camada filtrante formada por 1,0 cm de brita nº 1, tela do tipo sombrite® e, sobre ela, 24,0 L de um Latossolo Vermelho Distroférico de textura média proveniente de área experimental do campus. A retirada e deposição do solo nos vasos foi feita visando manter ao máximo as propriedades físicas do solo em condições de campo.

A correção do solo constituiu de calagem para aumentar a saturação por bases para 80% (Aguar et al., 2014) e aplicação de calcário dolomítico para correção da acidez. O solo corrigido foi mantido em repouso por um período de 40 dias com umidade próxima à capacidade de campo. Para isso, o solo era umedecido diariamente e a lâmina de água era determinada por meio do balanço hídrico em lisímetros de drenagem. A lâmina correspondia ao volume médio retido nos lisímetros após cessar o movimento gravitacional de água. A adubação também foi realizada conforme instruções de Aguiar et al. (2014) adaptadas para experimento em vasos. As fontes de NPK foram, respectivamente, o superfosfato simples, cloreto de potássio e ureia. O nitrogênio foi parcelado em 3 aplicações de acordo o estágio fenológico, como: fundação, floração inicial e final de floração. Ao substrato incorporou-se 3% de matéria orgânica à camada superficial do solo.

O plantio foi realizado manualmente, com a distribuição de 10 sementes por vaso na área útil da superfície do solo. Posteriormente, foi feito o desbaste, quando a formação de estande atingiu 80% de emergência de plantas (12 dias após à semeadura), resultando na permanência de apenas uma planta por vaso para as análises (unidade experimental). Os tratamentos culturais seguiram as técnicas recomendadas para a cultura e incluíram o controle manual das plantas daninhas, a

escarificação superficial do solo antes das irrigações e a implementação de medidas fitossanitárias com a aplicação de produtos químicos e biológicos. O suprimento de micronutrientes foi administrado via adubação foliar sempre que observadas, visualmente, características de deficiência nutricional.

O manejo da irrigação baseou-se no balanço hídrico do solo mediante determinação da evapotranspiração real da cultura (ET_r), utilizando para isso, quatro lisímetros de drenagem, seguindo a metodologia usada por Gusmão et al. (2018) e Almeida et al. (2020). O volume médio diário retido nos lisímetros representava 100% da ET_r, no qual foi fracionado para obter as outras reposições hídricas. Isso permitiu as irrigações com 100% de RH (irrigação plena) e as frações de 75%, 50% e 25% das RH (irrigações fracionadas/deficitárias). A Figura 1 mostra parte do experimento implantado.



Figura 1. Cultivo de girassol em vasos sob ambiente protegido. Figure 1. Sunflower cultivation in pots under a protected environment.

Para magnetizar a água, foi utilizado um magnetizador do modelo Rural 3000 da fabricante Timol Indústria e Comércio de Produtos Magnéticos (Sylocimol Rural®) (Figura 2).



Figura 2. Magnetizador usado no experimento. Fonte: Sylocimol Magnetiza (2024).

Figure 2. Magnetizer used in the experiment. Source: Sylocimol Magnetiza (2024).

De acordo com o fabricante, este equipamento tem a capacidade de magnetizar 3000 litros de água em 30 a 45 minutos e produz uma densidade de fluxo magnético de 3.800 Gauss (G) ou 0,38 Tesla (T). O magnetizador foi depositado no interior de um reservatório distinto daquele usado para a água normal de irrigação, onde permaneceu por todo o período do estudo. Convém salientar que os dois reservatórios (água normal e magnetizada) eram abastecidos pela mesma fonte de água. A condutividade das águas de irrigação (CEa) foram mensuradas ao longo do experimento por um condutivímetro portátil, que foram, em média 147,39 μS cm⁻¹, para água normal e 166,52 μS cm⁻¹ para água magnetizada, o que representa um aumento de 11,49% na CEa.

2.2. Análise de crescimento

Para as análises de crescimento, inicialmente foram necessárias as determinações da área foliar (AF) e das massas secas das folhas (W_f). A AF foi determinada de forma indireta por meio da Equação 1 proposta por Maldaner et al. (2009), após contabilizar a largura de todas as folhas no período compreendido entre 20 a 90 dias após a emergência (DAE).

$$AF = 1,7582 L^{1,7067} \quad (01)$$

em que: AF = área foliar, em cm²; L = Largura da folha, em cm.

As matérias secas foram obtidas aos 90 dias, inicialmente, pelo fracionamento da parte aérea da planta (folhas). Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada de ar a uma temperatura de 60 °C por um período de 96 horas, seguida por pesagem em balança de precisão com resolução de 0,001 g.

As variáveis de crescimento foliar foram determinadas pela metodologia preconizada por Lopes; Lima (2015), que foram:

- Taxa de crescimento relativo médio (\overline{R}_A), que expressa o incremento na biomassa por unidade de biomassa preexistente, ou seja, o índice de eficiência (taxa de juros) (Equação 2).

$$\overline{R}_A = \frac{\ln A_{f2} - \ln A_{f1}}{t_2 - t_1} \quad (02)$$

em que: \overline{R}_A = Taxa de crescimento relativo médio, em m² m⁻² dia⁻¹, A_{f2} = Área foliar aos 90 dias, em m²; A_{f1} = Área foliar aos 20 dias, em m²; t₂ = tempo 2 (90 dias) e t₁ = tempo 1 (20 dias).

- Taxa assimilatória líquida ou taxa foliar unitária (\overline{E}_A) (Equação 3), que expressa a taxa de incremento de massa seca em dado instante em relação à AF (tamanho do aparelho assimilatório). Devido a tendência ontogenética, a Equação 3 foi escolhida para determinação de \overline{E}_A após verificar-se as relações quadráticas entre AF e o tempo, para todas as reposições hídricas (Tabela 1).

$$\overline{E}_A = \frac{2(W_{t2} - W_{t1})}{(A_{f2} - A_{f1})(t_2 - t_1)} \quad (03)$$

em que: \overline{E}_A = Taxa assimilatória líquida média, em g m⁻² dia⁻¹, W_{t2} = Massa seca foliar aos 90 dias, em g; W_{t1} = Massa seca foliar aos 20 dias, em g; A_{f2} = Área foliar aos 90 dias, em m²; A_{f1} = Área foliar aos 20 dias, em m²; t₂ = tempo 2 (90 dias) e t₁ = tempo 1 (20 dias).

- Área foliar específica (S_A), entendida como a relação entre a área foliar e a massa seca foliar (Equação 4).

$$S_A = \frac{A_{f2}}{W_f} \quad (04)$$

em que: S_A = Área foliar específica, em m² dia⁻¹, W_f = Massa seca foliar aos 90 dias, em g; A_{f2} = Área foliar aos 90 dias, em m².

Tabela 1. Comportamento matemático da área foliar de girassol em relação ao tempo, para cada percentual de reposição hídrica (RH%). Table 1. Mathematical behavior of sunflower leaf area about time, for each percentage of water replacement (RH%).

RH (%)	Modelo matemático ajustado	R ²
25	y = -2,6176**x ² + 270,22**x - 3673,5	0,9999
50	y = -3,3372**x ² + 392,22**x - 5804,0	0,9999
75	y = -5,0471**x ² + 584,85**x - 8821,6	0,9867
100	y = -5,4674**x ² + 621,11*x - 9140,1	0,9385

** = Significativo a p<0,01; * = Significativo a p<0,05. Dados obtidos em estudo prévio com a cv. BRS 323 (dados não publicados).

- Índice de área foliar (IAF), que descreve o tamanho do aparelho assimilatório do estande de plantas, sendo o fator primário que determina, tanto o crescimento da cultura, quanto a taxa assimilatória líquida (Equação 5).

$$IAF = \frac{A_{f2}}{S_t} \quad (05)$$

em que: IAF = Índice de área foliar, em decimal, A_{f2} = Área foliar aos 90 dias; em m^2 ; S_t = Área da superfície do solo em m^2 (considerada a área útil do solo no vaso igual a $0,0974 m^2$).

- Duração de área foliar (D_A), que é a relação entre a área foliar e o tempo, também dada pela taxa de crescimento relativo de área foliar (Equação 6).

$$D_A = \frac{(A_{f2} - A_{f1})(t_2 - t_1)}{(\ln A_{f2} - \ln A_{f1})} \quad (06)$$

em que: D_A = Duração de área foliar, em dia (d); A_{f2} = Área foliar aos 90 dias, em m^2 ; A_{f1} = Área foliar aos 20 dias, em m^2 ; t_2 = tempo 2 (90 dias) e t_1 = tempo 1 (20 dias).

A dinâmica hídrica do girassol foi expressa pelo coeficiente de cultivo (Kc), cuja metodologia de determinação foi aquela proposta por Carvalho; Oliveira (2012). O Kc expressa a razão entre o consumo hídrico diário do girassol (E_{tr} em $mm \text{ dia}^{-1}$) determinada pelos lisímetros e as evapotranspirações de referência diárias (E_{To} em $mm \text{ dia}^{-1}$), calculadas pelo software EVAPO (Maldonado Júnior et al., 2019), que usa a metodologia de Penman-Monteith e dados de satélite.

Nos últimos 9 dias de cultivo, as lâminas de irrigação foram reduzidas periodicamente, a fim de favorecer o amadurecimento dos grãos e não ocorrer abscisão foliar.

Após tabulação, as variáveis foram submetidas à análise estatística ao nível $p < 0,05$ por meio do software SISVAR versão 5.8. Em caso de significância, os fatores quantitativos foram avaliados por regressão múltipla e os qualitativos por teste de Tukey. Gráficos, Tabelas e Figuras foram gerados por meio do software Excel® versão 2016.

Tabela 2. Análise de variância e médias para as variáveis \bar{R}_A , \bar{E}_A , S_A , IAF e D_A . Desdobramento da interação do tipo de água na reposição hídrica de 25%.

Table 2. Analysis of variance and means for the variables \bar{R}_A , \bar{E}_A , S_A , LAI and D_A . Unfolding of the interaction of the type of water in the 25% water replacement.

Fonte de variação	GL	\bar{R}_A	\bar{E}_A	S_A	IAF	D_A
Bloco	3	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,73 ^{ns}	3,16 ^{ns}
Água	1	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,44*	0,83
RH	3	0,00**	2,54**	0,00**	39,25**	233,91**
A x RH	3	0,00*	0,89*	0,00 ^{ns}	0,90*	1,19 ^{ns}
Resíduo	21	0,00	0,22	0,00	0,28	1,49
CV (%)		15,11	22,34	16,21	12,15	9,05
Média		0,02	2,12	0,02	4,40	13,50
T. Água						
Desdobramento da água dentro de 25% RH						
Normal			3,42a			
Magn.			2,40b			
T. Água						
Desdobramento da água dentro de 50% RH						
Normal		0,029a			4,85a	
Magn.		0,022b			3,82b	
T. Água						
Desdobramento da água dentro de 75% RH						
Normal		0,032a			6,44a	
Magn.		0,027b			5,48b	

** = Significativo a $p < 0,01$; * = Significativo a $p < 0,05$; GL = Graus de liberdade; CV (%) = Coeficiente de variação; A = Água; RH = Reposição hídrica (%); T. Água = Tipo de água; Magn. = Magnetizada; \bar{R}_A = Taxa de crescimento relativo médio de área foliar; \bar{E}_A = Taxa assimilatória líquida; S_A = Área foliar específica; IAF = Índice de área foliar; D_A = Duração de área foliar (dias); ¹ = Dados transformados pela equação $(x+1)^{0,5}$; Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

3. RESULTADOS

A curva de Kc da cultura do girassol está disposta a seguir (Figura 3). O estágio inicial do girassol durou 6 dias e o Kc1 é constante com valor igual a 0,6. O estágio de desenvolvimento vegetativo durou 25 dias e o Kc2 variou linearmente entre 0,6 a 1,78. A fase de floração, representada pelo Kc3, durou 34 dias e o valor encontrado foi de 1,8, já a fase de maturação fisiológica durou 9 dias e o Kc4 variou linear e decrescente entre 1,8 a 0,74.

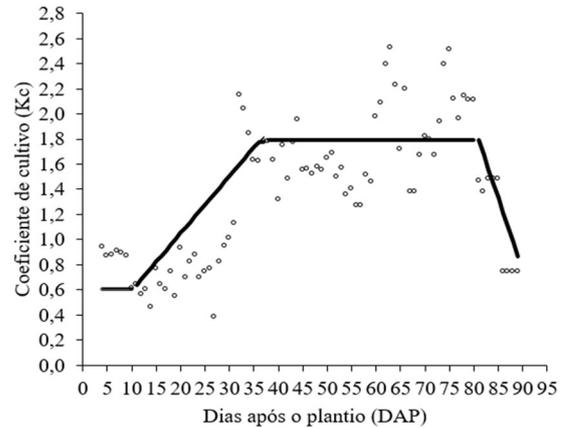


Figura 3. Coeficientes de cultura de girassol cv. BRS 323 em função de dias após o plantio.

Figure 3. Sunflower crop coefficients cv. BRS 323 as a function of days after planting.

Houve interação entre os fatores água e reposição hídrica para as características taxa de crescimento relativo médio da área foliar (\bar{R}_A), taxa assimilatória líquida (\bar{E}_A) e índice de área foliar (IAF) (Tabela 2). Nas outras características como área foliar específica (S_A) e duração de área foliar (D_A) ocorreu efeito isolado do fator RH.

Em $\overline{R_A}$ o desdobramento da interação da água dentro da reposição hídrica ocorreu apenas em 50% e 75% de RH e, verifica-se que em ambas, a água magnetizada causou reduções da ordem de 15,62% e 24,14%, respectivamente (Figura 4). Já em $\overline{E_A}$, o desdobramento da água dentro da RH foi significativo apenas em 25% RH e também causou redução nessa variável, na ordem de 29,82% (Figura 5).

Na Figura 4 são mostradas as curvas de $\overline{R_A}$ para o desdobramento das RH dentro de cada tipo de água. Considerando água normal, a $\overline{R_A}$ máxima ocorre quando usada uma RH de 76% ($0,034 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$) e, para água magnetizada, a máxima é obtida com uma RH de 93,5% ($0,030 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$).

No desdobramento da interação dos tipos de água dentro das RH para a $\overline{E_A}$, houve significância apenas para o tipo de água normal de irrigação (Figura 5).

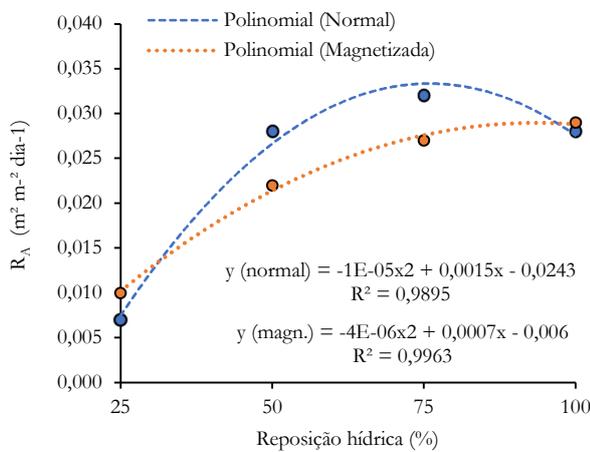


Figura 4. Desdobramento da interação das reposições hídricas dentro dos tipos de água para a taxa de crescimento relativo médio da área foliar de girassol.

Figure 4. Unfolding of the interaction of water replacement within the types of water for the average relative growth rate of sunflower leaf area.

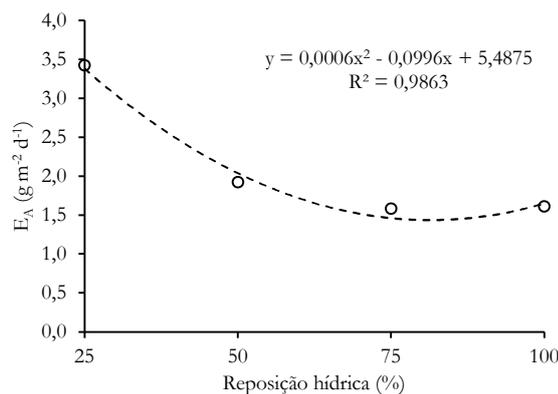


Figura 5. Taxa assimilatória líquida média de girassol em função da reposição hídrica.

Figure 5. Average net assimilation rate of sunflower as a function of water regulation.

Também houve ajuste de modelo matemático de segunda ordem, porém, observou-se redução da $\overline{E_A}$ para cada incremento de RH, com mínimo em 83% de RH ($1,35 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Nenhum modelo matemático significativo que explique o comportamento do desdobramento da água magnetizada dentro das RH foi obtido. Apesar da tendência à inflexão, o

comportamento matemático significativo da S_A diferiu das outras características anteriores, pois, percebeu-se incrementos lineares de $0,002 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ por incremento unitário de RH, totalizando $0,006 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ entre 25 e 100% de RH (Figura 6). O S_A é um índice mais plástico em função da interação com as condições de contorno do que $\overline{E_A}$, porém, são inter-relacionadas, de modo que seu acréscimo representa decréscimo nessa outra característica, o que é observado na Figura 5.

No desdobramento da interação das RH dentro dos tipos de água observa-se ajuste de modelo matemático de segunda ordem, de modo que, os pontos máximos das curvas foram de 6,21 na RH de 79,7% (água normal) e de 6,37 à 109,0% de RH na água magnetizada (Figura 7). Semelhante à $\overline{R_A}$, a qualidade da água magnetizada foi reduzida a ponto de reduzir sua disponibilidade, pois, a RH ótima para o máximo de IAF foi obtida fora do intervalo de RH em estudo (100%).

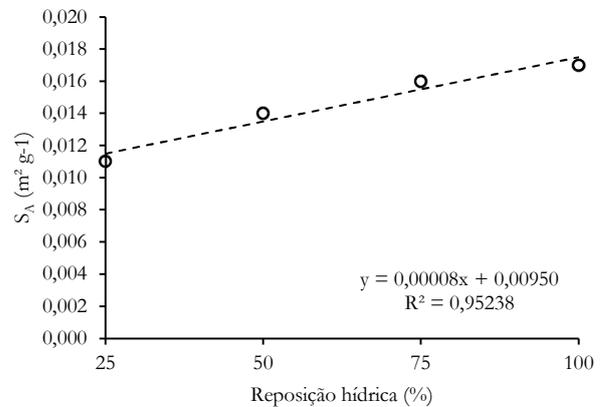


Figura 6. Área foliar específica de girassol em função da reposição hídrica.

Figure 6. Sunflower leaf area ratio as a function of water replacement.

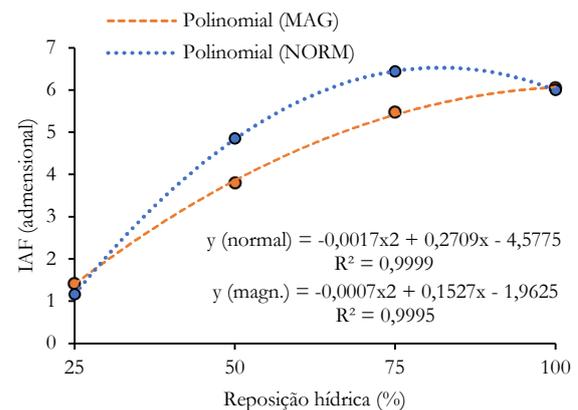


Figura 7. Desdobramento da interação das reposições hídricas dentro dos tipos de água para o índice de área foliar.

Figure 7. Unfolding of the interaction of water replacement within the types of water for the leaf area index.

Os valores ótimos de IAF podem diferir entre o requerido para biomassa e o requerido para produção de grãos e, aliado ao uso da radiação solar, pode variar de 3 a 6 em climas temperados e superiores a 10 em climas tropicais (LOPES; LIMA, 2015).

Normalmente, o IAF máximo é atingido na estação de crescimento, de modo que, nesse estudo o IAF é mais

dependente do suprimento hídrico, já que todas as condições de contorno foram iguais nas parcelas (radiação solar incidente, temperatura, fertilizações, dentre outras).

Assim, percebe-se que, independentemente da RH significativa, a água magnetizada foi responsável por reduções expressivas em \overline{R}_A , IAF e \overline{E}_A (Figuras 4, 7 e 5).

Na Figura 8 foi possível verificar que a duração da área foliar (D_A) também descreveu comportamento matemático de segunda ordem com a RH, cujo máximo número de dias em que a planta manteve ativa a superfície foliar foi dada pela RH de 88,30%, com estimativa de 17 dias. O comportamento da D_A foi semelhante à \overline{R}_A e IAF, uma vez que D_A também pode ser determinado pela integral dessas variáveis em relação ao tempo (LOPES; LIMA, 2015).

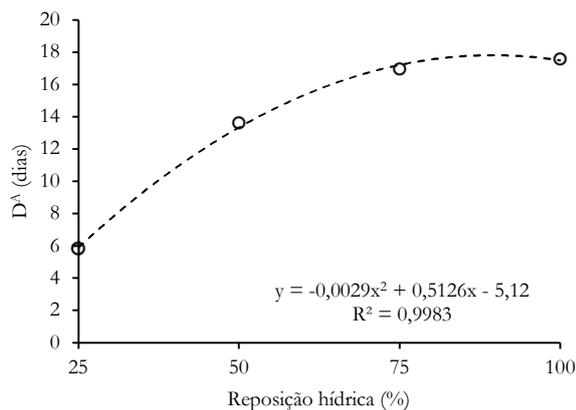


Figura 8. Duração de área foliar de girassol em função da reposição hídrica.

Figure 8. Sunflower leaf area duration as a function of water replacement.

6

4. DISCUSSÃO

A \overline{R}_A indica a rapidez com que uma parte da planta cresce em relação ao tamanho inicial e é uma característica plástica, plasticidade esta importante para manter o crescimento e a sobrevivência das plantas (OLIVEIRA et al., 2018). Essa plasticidade é observada na Figura 4, para ambos os tipos de água usadas na irrigação do girassol. Porém, com uso da água magnetizada, a \overline{R}_A máxima ocorre numa RH maior que aquela encontrada com uso de água normal. Esse resultado evidencia que a disponibilidade da água magnetizada foi reduzida, quanto à qualidade, haja visto que é necessário mais aporte hídrico para obter o máximo em \overline{R}_A , se comparada à irrigação com água normal na cv. BRS 323. Esses efeitos são similares às plantas submetidas à elevação de salinidade (aumento de condutividade elétrica) (AMARAL et al., 2021).

A \overline{R}_A é uma variável que se associa diretamente com o IAF e, nesse estudo, verificou-se associação polinomial de segunda ordem entre elas, para os dois tipos de água de irrigação. Maiores RH retornaram maiores IAF e \overline{R}_A (Figura 9) até um limite de IAF de 7,8 para água normal e 9,0 para água magnetizada. Embora o girassol seja uma cultura considerada moderadamente tolerante à seca, na realidade é altamente sensível à variação de RH no solo, devido à sua ineficiência na regulação da expansão foliar e das taxas de transpiração sob disponibilidade variável de umidade do solo (HUSSAIN et al., 2018). Todavia, resistência e/ou sensibilidade à variação de disponibilidade hídrica dependem dos híbridos de girassol, de modo que respostas distintas podem ser obtidas (ÇIÇEK et al., 2019).

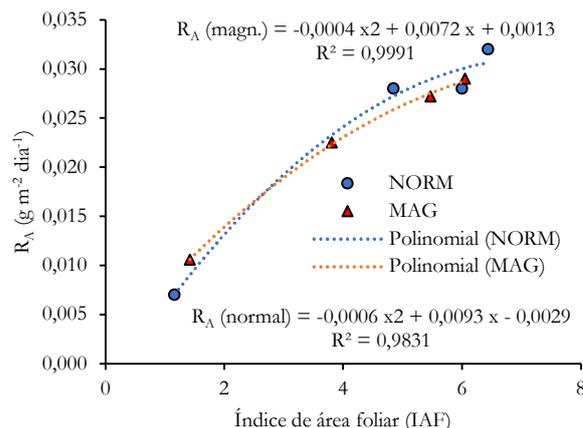


Figura 9. Relação matemática entre o índice de área foliar e a taxa de crescimento relativo médio da área foliar de girassol nos dois tipos qualidade de água de irrigação.

Figure 9. Mathematical relationship between the leaf area index and the average growth rate relative to the sunflower leaf area in two types of quality of water irrigation.

A \overline{E}_A também possui relação direta com o IAF, uma vez que a taxa de crescimento da cultura é função dessas duas variáveis, porém, nesse estudo, observou-se relação inversa entre elas. O decréscimo observado na Figura 5 pode estar ligado ao auto sombreamento (entre folhas da mesma planta) e a redução da eficiência fotossintética das folhas mais velhas com o decorrer do ciclo e, também, a ineficiente regulação em expansão foliar discutido no parágrafo anterior. O girassol é uma cultura que define o número de folhas no início do ciclo, entre 10 e 20 dias, de forma que, inicialmente a água disponível altera seu número e, posteriormente, seu tamanho (CASTRO; FARIAS, 2005). Com o aumento do IAF pela idade da planta, e favorecido pelo aumento do aporte hídrico no solo (Figura 7), resultou em maior AF. Porém, o aumento do IAF também incorre em número de folhas basais sombreadas e, também, folhas velhas e menos eficientes fotossinteticamente (Barbero et al., 2013) o que pode explicar esse resultado.

Na Figura 10 é mostrada a relação entre o IAF e \overline{E}_A , nas condições experimentais desse estudo. Essa relação é interessante, pois, evidencia-se a necessidade de cautela de uso do IAF para uso isolado como indicativo da taxa de crescimento na cv. BRS 323, sendo recomendada uma análise conjunta com outras características de crescimento.

Observou-se que a interação entre água magnetizada e a menor disponibilidade hídrica (25%) potencializou os efeitos deletérios na \overline{E}_A do girassol (Tabela 2). A alteração da condutividade elétrica somada à menor disponibilidade hídrica pode desencadear uma série de alterações fisiológicas importantes que estão associadas com a \overline{E}_A , principalmente a nível foliar (AMARAL et al., 2021). Dessa forma, recomenda-se cautela no uso de água magnetizada para a cultura do girassol cv. BRS 323.

Nesse estudo, ficou evidente que a variação de água no solo possui relação direta com a S_A da cv. BRS 323 (Figura 6). A S_A é uma característica funcional essencial e um indicador para estimar as estratégias das plantas em resposta às mudanças ambientais e está intimamente ligada à estratégia de uso da água pelas plantas. As espécies anuais, como as culturas agrícolas, tendem a ter maior S_A e, conseqüentemente, maior plasticidade, com tendência à

decréscimo quando a RH é reduzida (ZHOU et al., 2020), o que comprova o resultado observado.

Porém, as respostas da cultura podem ser diferentes, a depender do cultivar, condições e épocas de plantio. Por exemplo, em um estudo conduzido por Loose et al. (2021), estes verificaram que tanto o excesso quanto o déficit hídrico levam a planta a formar folhas de maior espessura, com uma maior densidade foliar, logo, maior S_A , sendo que o controle apresentou os menores valores, tanto na época de safra quanto na safrinha.

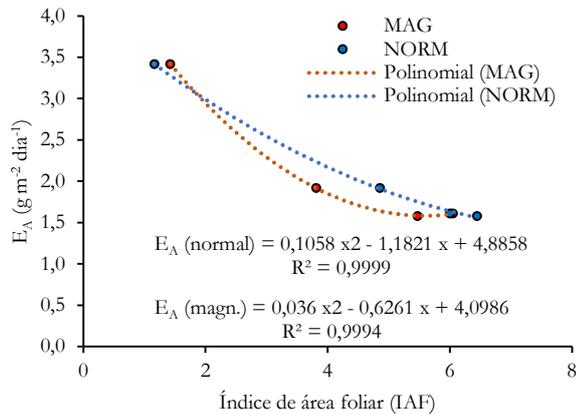


Figura 10. Relação matemática entre o índice de área foliar e a taxa assimilatória líquida média de girassol nos dois tipos qualidade de água de irrigação.

Figure 10. A mathematical relationship between the leaf area index and the average net assimilation rate of sunflowers in the two types of irrigation water quality.

O IAF é o índice de crescimento mais importante do girassol e apresenta maior sensibilidade à deficiência hídrica (SOLEYMANI, 2016). O IAF foi significativamente influenciado pelo tipo e quantidade de água fornecida ao girassol (Tabela 2 e Figura 7). Diversas são as estratégias que as plantas desenvolvem para lidar com variação de fatores externos, entre elas a modulação da área foliar, em principal para reduzir a superfície evapotranspirativa livre. Relação linear entre o IAF e evapotranspiração sazonal em girassol já foi demonstrada por Salbas; Erdem (2023) e isso influencia na relação entre a eficiência de uso da água e a condutividade estomática do dossel, que são sensíveis à variação do IAF (Wang et al., 2021), além de efeitos no processo de fotossíntese e acúmulo de matéria seca (LI et al., 2019).

Quanto a redução do IAF mediante o tipo de água de irrigação, atribui-se esse comportamento à mudança na disponibilidade de água, em principal a alteração causada na condutividade elétrica. Observou-se que essas reduções ocorreram apenas nas RH de 50 e 75% (Tabela 2) e esse comportamento já foi demonstrado por Gomaa; El-Khawaga (2022) nos mesmos regimes hídricos. Os autores discutem que RH entre 50 e 75% de disponibilidade de água no solo inferem em IAF com valores muito próximos no cultivo do girassol, o que pode elucidar esse comportamento visto no presente estudo.

Salienta-se que, durante o estudo, houve um aumento de 11,49% na condutividade elétrica (CEa) da água magnetizada em relação a água normal. Entre as alterações ocorridas nas plantas, mediante a alteração da condutividade elétrica estão, a taxa fotossintética, as trocas gasosas, a eficiência fotoquímica e a inibição de expansão celular, principalmente

na parte aérea (SAFDAR et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2021; TA et al., 2022).

Além disso, as alterações na CEa podem promover o estresse oxidativo nas plantas por meio da produção de espécies reativas de oxigênio, o que leva as plantas a investirem energia em sistemas de defesa antioxidante em detrimento de seu crescimento e desenvolvimento (DEWIR; ALSADON, 2022).

A duração de área foliar (D_A) alcançou um pico de 17 dias com a RH de 88,30 %, ou seja, com maiores valores entre 75 e 100% de RH (Figura 8). Resultado semelhante foi encontrado por Loose et al. (2021) que verificaram que a D_A é sempre maior no tratamento controle (água disponível variando entre 75 a 100%), com os piores resultados para o déficit hídrico, sendo maior D_A na safra do que na safrinha. Logo, o crescimento vegetal é decisivamente influenciado pela D_A (BARBERO et al., 2013).

Nesse estudo, observou-se reduções em $\overline{R_A}$, S_A , D_A , $\overline{E_A}$ e IAF quando usada água magnetizada em vez da água normal, entretanto, há concordâncias e divergências na literatura atual. Já foi demonstrado que a água tratada magneticamente pode aumentar o rendimento e a produtividade da água de irrigação e reduzir os efeitos deletérios advindos do estresse salino em *Helianthus annuus* L. (Abdulraheem; Jameel, 2021; Dastorani et al., 2022), mas, que valores baixos de CEa da água normal de irrigação são melhores para o crescimento do girassol em todos os seus estádios de desenvolvimento (ABDULRAHEEM; JAMEEL, 2021). Em suma, infere-se que a água magnetizada ajuda a minimizar efeitos de alguns estresses, mas em condições ótimas de disponibilidade hídrica, a água normal favorece melhorias em *Helianthus annuus* L.

Para Alattar et al. (2022), os efeitos da água tratada magneticamente associada a outros fatores, como o suprimento hídrico, são dependentes do genótipo e do campo magnético e deve ser testado separadamente antes de ser aplicado a um genótipo específico. Logo, o presente estudo é uma parte importante da investigação de como a morfologia foliar da cv. BRS 323 se comporta frente à variação qualitativa e quantitativa de água de irrigação.

5. CONCLUSÕES

Nesse estudo, observou-se reduções em $\overline{R_A}$, S_A , D_A , $\overline{E_A}$ e IAF devido a menor disponibilidade hídrica causada pela elevação da condutividade elétrica. É necessária maior reposição hídrica com água magnetizada do que com água normal para obter a maior taxa de crescimento relativo médio.

Maiores reposições hídricas resultam em maiores taxas de crescimento relativo médios, até os limites máximos de índice de área foliar de 7,8 (água normal) e 9,0 (água magnetizada).

Houve relação inversa entre taxa assimilatória líquida e índice de área foliar, devido ao auto-sombreamento e a redução da eficiência fotossintética de folhas senis.

A área foliar específica mostrou relação linear com a reposição hídrica e a duração de área foliar e alcançou um pico de 17 dias com 88,30% de reposição hídrica. Mais estudos devem ser realizados com outras cultivares de girassol para avaliar a interação entre água fracionada no solo com reposições hídricas com água magnetizada no crescimento morfológico foliar a fim de que seja produzido mais conhecimento acerca dos efeitos da água magnetizada em plantas agricultáveis.

6. REFERÊNCIAS

- ABDELGHANY, A. E.; ABDO, A. I.; ALASHRAM, M. G.; ELTOHAMY, K. M.; LI, J.; XIANG, Y.; ZHANG, F. Magnetized Saline Water Irrigation Enhances Soil Chemical and Physical Properties. **Water**, v. 14, n. 24, e4048, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14244048>
- ABDULRAHEEM, L. H.; JAMEEL, W. Effects of magnetic treatment of different qualities of irrigation water on plant growth. **Earth and Environmental Science**, v. 779, e012030, 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012030>
- AGUERA, E.; HABA, P. L. Climate change impacts on sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Plants**, v. 10, n. 12, e2646, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10122646>
- AGUIAR A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S. A.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452p. (Boletim IAC, n. ° 200)
- ALATTAR, E.; RADWAN, E.; ELWASIFE, K. Improvement in growth of plants under the effect of magnetized water. **Biophysics**, v. 9, n. 4, p. 346-387, 2022. <https://doi.org/10.3934/biophy.2022029>
- ALMEIDA, R. C.; DEUS, F. P.; DIOTTO, A.V.; TEIXEIRA, A. L. P.; LEMOS, L. T. O.; PIZETTA, S. C.; GÓES, V. C. N. Desenvolvimento vegetativo do tomateiro Sweet Heaven irrigado com água tratada magneticamente. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5428-5434, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-007>
- AMARAL, A. M.; BASTOS, A. V. S.; SANTOS, M. A. C. M.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Respostas fisiológicas do girassol em fase reprodutiva ao estresse hídrico e salino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e97101220199, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20199>
- ANDRADE, A.; BOERO, A.; ESCALANTE, M.; LLANES, A.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CÁDENAS, A.; ALEMANO. Comparative hormonal and metabolic profile analysis based on mass spectrometry provides information on the regulation of water-deficit stress response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines with different water-deficit stress sensitivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 168, p. 432-446, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.015>
- BARBERO, L. M.; PRADO, T. F.; BASSO, K.B.; LIMA, L. A.; MOTTA, K. M.; KRUGER, B. C.; MARTINS NETO, L. R.; SILVA, G. A. S. Análise de crescimento em plantas forrageiras aplicada ao manejo de pastagens. **Veterinária Notícias**, v.19, n.2, p.71-85, 2013.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 240p.
- CARVALHO, G. T.; SOUSA FILHO, E. N.; FERREIRA, G.S.; ADERALDO, F. I. C.; GONDIM, F. A. Utilização de resíduos da piscicultura para a composição de substrato de cultivo de girassol. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 166-171, 2024. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.15746>
- CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 641p.
- ÇİÇEK, N.; PEKCAN, V.; ARSLAN, Ö.; ERDAL, Ş. Ç.; NALÇAIYI, A. S. B.; ÇİL, A. N.; ŞAHİN, V.; KAYA, Y.; SHOW, Y. E. Assessing drought tolerance in field-grown sunflower hybrids by chlorophyll fluorescence kinetics. **Brazilian Journal of Botany**, v. 42, p. 249-160, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00534-1>
- DASTORANI, M.; ALBAJI, M.; NASAB, S. B. Crop response and water productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) drip-irrigated with magnetically treated and non-magnetically treated water with variable salinity. **Water SA**, v. 48, n. 1, p. 90-96, 2022. <https://doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i1.3888>
- FAYED, M. H.; GHANEM, H. G.; SHETA, M. H.; ALI, A. A. Effect of magnetized water on water use efficiency of spinach under north Sinai conditions. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, v. 38, n. 2, p. 137-154, 2021. <https://doi.org/10.21608/mjag.2021.66391.1027>
- GENEROSO, T. N.; MARTINEZ, M. A.; ROCHA, G. C.; HAMAKAWA, P. J. Water magnetization and phosphorus transport parameters in the soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 9-13, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p9-13>
- GOMAA, F. S. M.; EL-KHAWAGA, A. A. H. Impact of planting distances and irrigation regimes on sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity and water use efficiency. **Sinai Journal of Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 611-624, 2022. <https://doi.org/10.21608/sinjas.2022.148311.1125>
- GUIMARÃES, R. F. B.; MAIA JÚNIOR, S. O.; LIMA, R. F.; SOUZA, A. R.; ANDRADE, J. R.; NASCIMENTO, R. Growth and physiology of ornamental sunflower under salinity in function of paclobutrazol application methods. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 12, p. 853-861, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p3-9>
- GUSMÃO, J. M.; VIDAL, V. M.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; MORAES, G. S.; ROQUE, R. C.; AMARAL, A. M. Características morfológicas e produtivas de cultivares de girassol sob diferentes reposições hídricas. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 17-24, 2018.
- HUSSAIN, M.; FAROOQ, S.; HASAN, W.; UL-ALLAH, S.; TANVEER, M.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 152-166, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>
- DOBRÁNSZKI, J. From mystery to reality: Magnetized water to tackle the challenges of climate change and for cleaner agricultural production. **Journal of Cleaner Production**, v. 425, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139077>
- LI, J.; QU, Z.; CHEN, J.; YANG, B.; HUANG, Y. Effect of Planting Density on the Growth and Yield of Sunflower under Mulched Drip Irrigation. **Water**, n. 11, v.4, p. 1-14, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11040752>

- LOOSE, L. H.; SILVA, J. R.; HELDWEIN, A. B.; BORTOLUZZI, M. P.; LEONARDI, M.; RANDONS, S. Z. Modelagem do crescimento do girassol sob diferentes épocas de semeadura, regimes hídricos e solos. **Agrometeoros**, v. 29, e026784, 2021. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v29.e026784>
- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 429p.
- MALDANER, I. C.; HELDWEIN, A. B.; LOOSE, L. H.; LUCAS, D. D. P.; GUSE, F. I.; BERTOLUZZI, M. P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1356-1361, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000500008>
- MALDONADO JÚNIOR, W.; VALERIANO, T. T. B.; ROLIM, G. S. EVAPO: A smartphone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, p. 187-192, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.032>
- MENDES, J. P. P.; AMARAL, A. M.; VERSSIANI, M. A. S.; SANTOS, M. Â. C. M. Crescimento e qualidade de mudas de baru em reposta a hidrorretentor e água magnetizada. **Scientia Plena**, v. 16, n. 11, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.110201>
- MEHAK, G.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M.; KAUSHIK, P.; EL-SHEIKH, M. A.; AHMAD, P. Methionine-induced regulation of growth, secondary metabolites and oxidative defense system in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants subjected to water deficit stress. **Plos One**, v. 16, n. 12, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259585>
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. (1991). Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENCO, S. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253.
- NGUYEN, D. T. C.; NGUYEN, T. T.; LE, H. T. N.; NGUYEN, T. T. T.; BACH, L. G.; NGUYEN, T. D.; VO, D. N.; TRAN, T. V. The sunflower plant family for bioenergy, environmental remediation, nanotechnology, medicine, food and agriculture: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, p. 3701-3726, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01266-z>
- OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600901>
- OLIVEIRA, M. K. T.; DOMBROSKI, J. L. D.; FERNANDES, A. L. M. Taxas de crescimento de mudas de *Erythrina velutinaem* dois ambientes de crescimento. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 1, p. 21-27, 2018. <https://doi.org/10.30969/acsa.v14i1.905>
- PIZETTA, S. C.; DEUS, F. P.; PAIVA, P. D. O.; DIOTTO, A. V.; THEBALDI, M. S.; COLODETTI, T. V.; NASCIMENTO, Â. M. P.; VIEIRA, N. P. A.; JAEGGI, M. E. P. C. Post-harvest growth and longevity of ornamental sunflowers irrigated using magnetized water with different irrigation depths. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 51, n. 4, p. 509-526, 2022. <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.2019061>
- RAHIMIAN, M. H.; ZABIHI, H. R. Investigation of the reaction of potato plant to magnetized saline water. **Agrotechniques in Industrial Crops**, v. 1, n. 3, p.149-153, 2021. <https://doi.org/10.22126/atic.2022.7145.1025>
- SAFDAR, H.; AMIN, A.; SHAFIQ, Y.; ALI, A.; YASIN, R.; SHOUKAT, A.; Ul-Hussan, M.; SARWAR, M. I. A review: Impact of salinity on plant growth. **Nature and Science**, v. 17, n. 1, p. 34-40, 2019. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>
- SALBAŞ, B.; ERDEM, T. Evaluation of plant-based measurements during the flowering period for purposes of the management of irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Elementology**, v. 28, n. 2, p.449-464, 2023. <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2023.28.2.2387>
- SMAEILI, M.; MADANI, H.; NASSIRI, B. M.; CHAVOSHI, S. Study of water deficiency levels on ecophysiological characteristics of sunflower cultivars in Isfahan, Iran. **Applied Water Science**, v. 12, n. 108, p. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01616-4>
- SOUSA FILHO, E. N.; ADERALDO, F. I. C.; CARVALHO, G. T.; FERREIRA, G. S.; MESQUITA, M. S. C.; GONDIM. Cultivo de plantas de girassol suplementadas com resíduos de tanques de produção de tilápia. **Nativa**, v. 12, n. 2, p. 241-248, 2024. <https://doi.org/10.31413/nativa.v12i2.15586>
- OLEYMANI, A. Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 10, n. 4, p. 505-519, 2017. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.108.1028>
- SOOTHAR, R. K.; SINGHA, A.; SOOMRO, S. A.; CHACHAR, A.; KALHORU, F.; RAHAMAN, M. A. Effect of different soil moisture regimes on plant growth and water use efficiency of Sunflower: experimental study and modeling. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, n. 121, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00580-4>
- SOUQUES, L. ALLETTO, L.; BLANCHET, N.; CASADEBAIG, P.; LANGLADE, N. B. Cover crop residues mitigate impacts of water deficit on sunflower during vegetative growth with varietal differences, but not during seed development. **European Journal of Agronomy**, v. 155, p. 1-10, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127139>
- VERSSIANI, M. A. S.; AMARAL, A. M.; MENDES, J. P. P.; BOTELHO, L. S.; SANTOS, M. A. C. M. Influência da irrigação com água magnetizada no cultivo de pimenteiras do gênero *Capsicum*. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n. 5, p. 64-80, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5684031>
- WANG, W.; WANG, X.; HUO, Z.; RONG, Y.; HUANG, Q.; HUANG, G. Variation and attribution of water use efficiency in sunflower and maize fields in an irrigated semi-arid area. **Hydrological Processes**, v. 35, n.3, p. e14080, 2021. <https://doi.org/10.1002/hyp.14080>
- YUSUF, K. O.; OGUNBAMOWO, T. R.; OBALOWU, R. O. Effect of magnetized water on water use efficiency,

yield and nutritional qualities of watermelon under deficit irrigation. **AgricEngInt: CIGR Journal**, v. 22, n. 3, p. 51-60, 2020.

ZHOU, H.; ZHOU, G.; HE, Q.; ZHOU, L.; JI, Y.; ZHOU, M. Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 171, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103932>

Agradecimentos: Os autores expressam agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), os quais forneceram bolsas de iniciação científica para a autora 2 e a infraestrutura necessária para a condução da pesquisa; como também a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por disponibilizar as sementes da cultivar em estudo e ao servidor José Francisco Teixeira Pitangui pelo suporte em campo.

Contribuições dos autores: A.M.A.: conceitualização, metodologia, análise estatística, administração ou supervisão, validação, redação (revisão e edição); A.F.C.B: investigação ou coleta de dados, redação (original), redação (revisão e edição); M.A.C.M.S.: metodologia, conceitualização, investigação ou coleta de dados, análise estatística, redação (original), redação (revisão e edição); D.R.S.: redação (original), redação (revisão e edição).

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).