



Suplementação com *Salvinia auriculata* reduz os efeitos deletérios do estresse hídrico em plântulas de girassol

Salvinia auriculata supplementation reduces the deleterious effects of drought stress on sunflower seedlings

Janacinta Nogueira de Souza¹; Paulo Ovídio Batista de Brito²; Gabriela de Sousa Ferreira³; Julyanne Fonteles de Arruda⁴; Lígia Queiroz Matias⁵; Franklin Aragão Gondim⁶

¹ Mestrando em Energias Renováveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Departamento de Química e Meio Ambiente, Maracanaú, Ceará, janacinta.nogueira@gmail.com, paulobatistaengenharia@gmail.com. ² Mestrando em Energias Renováveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Departamento de Química e Meio Ambiente, Maracanaú, Ceará, gabrieladesousaf@hotmail.com. ³ Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Maracanaú, Ceará, julyannefarruda@yahoo.com.br. ⁴ Professora, Universidade Federal do Ceará, Departamento de Biologia, Fortaleza, Ceará, lqmatias@gmail.com. ⁵ Professora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Departamento de Química e Meio Ambiente, Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis, Maracanaú, Ceará, aragaofg@yahoo.com.br.

ARTIGO

Recebido: 04/08/2020
Aprovado: 13/03/2021

Palavras-chave:

Macrófita
Helianthus annuus L.
Estresse oxidativo

Key words:

Macrophyte
Helianthus annuus L.
Oxidative stress

RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica em regiões semiáridas afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. O trabalho analisou os efeitos da aplicação da *Salvinia auriculata* como suplemento no crescimento e nas atividades das enzimas antioxidativas: superóxido dismutase, catalase, peroxidase do ascorbato e peroxidase do guaiacol em folhas e raízes de plântulas de girassol submetidas às condições de estresse hídrico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 2x3, sendo dois sistemas de irrigação (irrigadas e não irrigadas) x três substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), com oito repetições. A suplementação com *Salvinia auriculata* proporcionou maiores incrementos na altura, número de folhas e massa fresca total. Além disso, houve aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes de plântulas de girassol, deduzindo-se que a suplementação com a macrófita *S. auriculata* minimizou os efeitos deletérios do estresse hídrico no crescimento das plântulas de girassol.

ABSTRACT

Low water availability in semiarid regions affects the development and productivity of agricultural crops. The work analyzed the effects of *Salvinia auriculata* application as a growth supplement and the activities of the antioxidative enzymes: superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase on leaves and roots of sunflower seedlings submitted to hydric stress conditions. The experimental design was entirely randomized, arranged in 2x3 factorial arrangement, being two irrigation systems (irrigated and non-irrigated) x three substrates (sand; sand + commercial humus 80 kg N ha⁻¹; sand + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), with eight repetitions. The supplementation with *Salvinia auriculata* provided higher increments in height, number of leaves and total fresh mass. In addition, there were increases in the activities of the antioxidative enzymes in leaves and roots of sunflower seedlings, deducing that the supplementation with the macrophyte *S. auriculata* minimized the deleterious effects of hydric stress on the growth of sunflower seedlings.

INTRODUÇÃO

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como a quinta maior oleaginosa em produção de grãos no mundo (ZAMPAR et al., 2017), com cerca de 45 a 65% de óleo na composição da semente (GRUNVALD et al., 2014). Além disso,

a cultura se destaca por ter maior adaptação e resistência à seca (DANTAS et al., 2015; SIQUEIRA; SILVA et al., 2019).

A região semiárida brasileira prospecta reduções nas precipitações para o século XXI (MARENGO; BERNASCONI, 2015). Tais situações afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (CHEN et al., 2016), com diversas respostas e



mecanismos aclimatativos, morfológicos, moleculares e fisiológicos (FANG; XIONG, 2015). As respostas mais proeminentes das plantas ao déficit hídrico consistem no decréscimo da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e da abscisão das folhas (ULLAH, 2017).

Segundo Laxa et al. (2019), o déficit hídrico ocasiona redução na disponibilidade de CO₂ e conseqüentemente na fotossíntese, estimulando assim a produção de peróxido (H₂O₂) nos peroxissomos. Os estresses geram maiores níveis de espécies reativas de oxigênio ROS (*Reactive Oxygen Species*), os quais causam estresse oxidativo, além de induzir a ativação da morte celular programada (SILVA et al., 2012; PYNGROPE et al., 2013).

As pesquisas referentes ao papel da produção e controle das concentrações de ROS durante o estresse hídrico em plantas ainda não são totalmente conclusivas (NUNES JUNIOR et al., 2017). O mecanismo enzimático é formado pelas enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), e peroxidases totais (POXs) (SILVA et al., 2012; HUSSAIN et al., 2016). A SOD catalisa a dismutação do O₂⁻ a oxigênio com a formação de H₂O₂ (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011; SHARMA et al., 2012), por ser tóxico, o H₂O₂ é dismutado em H₂O e O₂ pelas enzimas CAT, APX e peroxidases totais, a fim de diminuir os efeitos deletérios no vegetal (SHEHAB et al., 2010).

A adubação nitrogenada além de proporcionar um melhor crescimento vegetal, pode minimizar os efeitos deletérios dos estresses abióticos (LIMA et al., 2014), uma vez que o nitrogênio é um nutriente essencial e exigido em maior proporção às funções metabólicas das plantas (FERREIRA et al., 2019). A presença de nitrogênio nas macrófitas possibilita sua utilização como fonte nutricional no cultivo do girassol.

Proveniente do processo natural e intensificadas por ações antrópicas, a *Salvinia auriculata* é uma espécie livre, flutuante e sob condições favoráveis como: nutrientes, salinidade, pH, herbívoros aquáticos, temperatura, correntes, ventos e ondas,

nível da água e radiação solar é rapidamente disseminada por propagação vegetativa (BILLINGS, 1964; WOLFF et al., 2009), podendo acumular substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água e no sedimento (SOARES et al., 2008).

O aproveitamento da biomassa vegetal da *Salvinia auriculata* como alternativa nutricional ao cultivo de girassol ainda é reduzido e pouco estudado. Porém, Souza et al. (2019) demonstraram resultados exitosos, evitando sua disposição final como um rejeito. Além de melhorar a qualidade das águas superficiais, o uso de macrófitas pode se tornar uma opção viável aos custos com fertilizantes.

Isto posto, o trabalho buscou analisar os efeitos da aplicação da *Salvinia auriculata* como fertilizante no crescimento e nas atividades das enzimas antioxidativas de plântulas de girassol submetidas ao estresse hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

A espécie de macrófita (*Salvinia auriculata* Aubl.) utilizada no experimento para suplementação das plantas de girassol foi obtida às margens da lagoa de Maracanaú – Ceará – Brasil, em dezembro de 2018 (período seco), cujas coordenadas foram 3° 52' 45.912" S 38° 37' 46.740" W. A espécie supracitada foi identificada pelo herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará, cujo código da exsicata foi EAC 62236. Após as coletas, o material foi lavado e secado em estufa a 80°C até a obtenção de massa constante (aproximadamente 48h). Em seguida, o material foi triturado e encaminhado para Laboratório de Solos/Água da Universidade Federal do Ceará para obtenção dos atributos químicos dos substratos utilizados no experimento (Tabela 1).

A determinação da concentração de Nitrogênio total (N) seguiu a metodologia de Malavolta (1997). Em que foi encontrado o valor de 7,6 g.kg⁻¹ de N na *Salvinia auriculata* (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química dos substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹) utilizados no experimento

Amostras	g Kg ⁻¹						mg Kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
<i>Salvinia auriculata</i>	7.6	1.3	4.8	0.8	1.5	4	6019.5	23.4	29	341.9
Húmus comercial	2.2	8.43	8.10	1.52	1.85	-	3445.5	1.80	89.3	380.1

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil, no período de setembro a outubro de 2019.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 2x3, sendo dois métodos de irrigação (irrigadas e não irrigadas) x três formulações de substrato (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), com oito repetições, cada uma constituída por um vaso com três plântulas. Para o húmus comercial, seguiu-se a recomendação da Embrapa que estabelece 80 kg N ha⁻¹ para produção de girassol (EMBRAPA, 2014). Contudo, para a

utilização *Salvinia auriculata*, empregou-se o quantitativo de 120 kg N ha⁻¹ com base nos trabalhos de Souza et al. (2019), que demonstraram o maior potencial nutricional.

As sementes de girassol, cultivar BRS 323, foram cedidas pela EMBRAPA, Produtos e Mercado – Escritório Dourados, MS, Brasil. As sementes foram semeadas em vasos plásticos de 5 L preenchidos com os substratos. Durante o experimento, foram realizadas regas diárias, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo do substrato.

Decorridos 21 dias após a semeadura (DAS), metade de cada grupo de plântulas de cada tratamento foi submetido à

suspensão da rega. Foi realizada coleta aos 26 dias após a semeadura (5 dias sob estresse hídrico).

Antes da coleta foram realizadas avaliações de crescimento, sendo determinados os valores de altura (A) com régua graduada em centímetros, aferindo-se da superfície do solo ao último nó, número de folhas (NF) por contagem manual e massa fresca total (MFT) que foram obtidas através da pesagem de toda parte aérea e radicular das plântulas realizada em balança de precisão analítica.

Os dados da coleta foram submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) através do programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2018) e os gráficos foram elaborados por meio do programa Sigma Plot 12.0.

Para mensurar as atividades das enzimas antioxidativas (CAT, GPX, APX e SOD) foram, inicialmente, preparados extratos de folhas e raízes frescas a partir da maceração, em almofariz, de 1 g de matéria fresca em nitrogênio líquido para obtenção do pó. Foram adicionados 4,0 mL de tampão fosfato de potássio a 100 mM, pH 7,0, contendo EDTA a 0,1 mM. O macerado foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12.000 x g durante 15 min.

A atividade da CAT foi determinada de acordo com Havir e McHale (1987), pelo decréscimo na absorvância em 240 nm, em virtude do consumo de H_2O_2 ; a da peroxidase de guaiacol (GPX) pelo método de Kar e Mishra (1976), em que a reação foi acompanhada pelo incremento da absorvância em 470 nm, em virtude da formação do tetraguaiacol; a da APX pelo método de

Nakano e Asada (1981), em que a oxidação do ascorbato foi medida pelo decréscimo na absorvância em 290 nm, e a da SOD pelo método de Beauchamp e Fridovich (1971), em que a reação foi medida através do aumento da absorvância em 560 nm, em virtude da produção de formazana azul, resultante da fotorredução do p-Nitrobluetetrazolium (NBT).

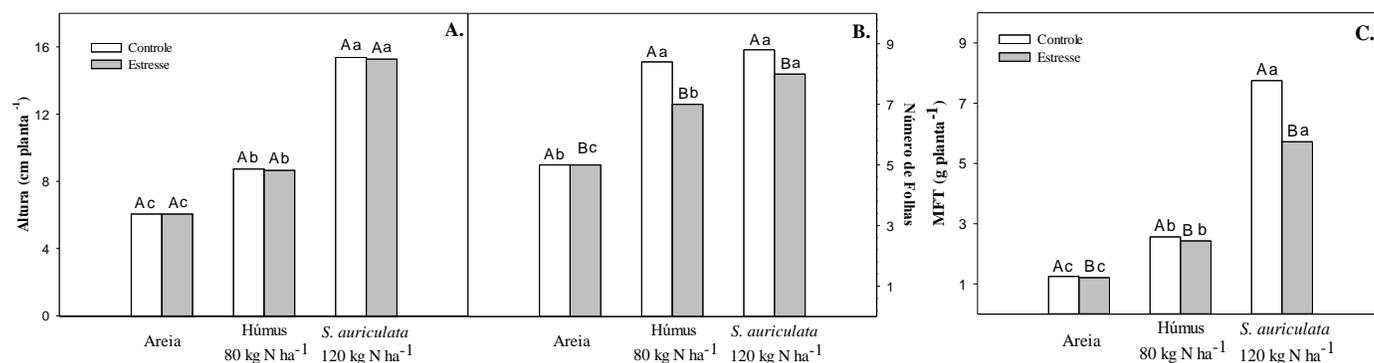
As atividades das enzimas CAT, APX e GPX foram determinadas em $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, e a da SOD em $\text{UA g}^{-1} \text{ MF}$, sendo MF a representação de matéria fresca e uma UA (unidade de atividade enzimática) expressa como a quantidade de enzima necessária para causar 50% de inibição da fotorredução do NBT. Cada extrato foi dosado em duplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, verificou-se que houve efeito significativo para a variável número de folhas (NF) e massa fresca total (MFT) em todos os fatores: Substrato (S) e Irrigação (I) e para a interação (S x I). Enquanto para a variável altura (A) só houve efeito significativo ao nível de ($P \leq 0,05$) para o fator substrato (S).

De maneira geral, o estresse hídrico promoveu redução no número de folhas e massa fresca total em todos os tratamentos em relação ao controle (Figura 1). Na condição de estresse hídrico, o tratamento areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹ proporcionou maiores valores para todas as variáveis (altura, número de folhas e massa fresca total), diferindo dos demais substratos.

Figura 1. Altura (A), Número de folhas (B) e Massa Fresca Total (C) de plântulas de girassol aos 5 dias após a suspensão da irrigação (aos 21 dias após a semeadura). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). CV (%) Altura: 9,07; CV (%) Número de Folhas: 8,13; CV (%) Massa Fresca Total: 35,91



Em comparação às condições de irrigação, os resultados da variável altura das plântulas não diferiram estatisticamente. Contudo, diferiram quanto ao fator substrato. A suplementação com *S. auriculata*, em condições de estresse hídrico, promoveu incrementos de 43,3% em relação ao húmus e 60,3% em relação à areia.

Para a variável número de folhas (Figura 1B), verificou-se que as plantas de girassol crescendo em substrato contendo *S. auriculata* apresentaram valores mais elevados quando comparados aos tratamentos areia e adubo em condições de estresse hídrico. Constatou-se ainda que, em média, o tratamento controle contendo *S. auriculata* apresentou valores superiores à

areia em 43,2%. Já o tratamento em condições de estresse hídrico foi superior à areia e ao adubo em 35 e 12,5%, respectivamente. Evidenciou-se que o tratamento *S. auriculata* controle foi 10% maior do que o *S. auriculata* estresse.

Quanto à MFT, verificou-se aumento em função do substrato utilizado. Em condições de estresse, as plântulas suplementadas com *S. auriculata* apresentaram valores superiores aos demais tratamentos (areia ou adubo), sendo a quantidade de MFT maior que 5 g, enquanto nos tratamentos com areia foi de 1,2 g e húmus foi 2,4g (Figura 1C).

Apesar das condições de estresse hídrico proporcionarem reduções no crescimento e na expansão celular (SANTOS et al.,

2014), o trabalho demonstrou que a utilização de resíduos orgânicos maximizou a produção de MFT, principalmente os resíduos de *S. auriculata*. Estes podem ser uma alternativa de adubação, atenuando as condições limitantes de baixa fertilidade dos solos semiáridos à baixos custos. Outros trabalhos corroboram com os resultados. Braga et al. (2017), observaram incremento na matéria fresca total de plantas de girassol sob estresse hídrico com resíduos de carcinicultura. Barbosa et al. (2019), utilizaram resíduos de macrófitas no cultivo de plântulas de girassol e observaram diferenças significativas na produção de matéria fresca quando comparados aos tratamentos areia e adubo tanto em condições controle como de estresse salino.

Como consequência dos efeitos do estresse hídrico sobre NF e MFT, são geradas Espécies Reativas de Oxigênio (ROS) em excesso (DEMIDCHIK, 2015). Assim, o sistema de defesa antioxidativo das plântulas atua para evitar a oxidação descontrolada causada pelo estresse hídrico (GONÇALVES, 2017).

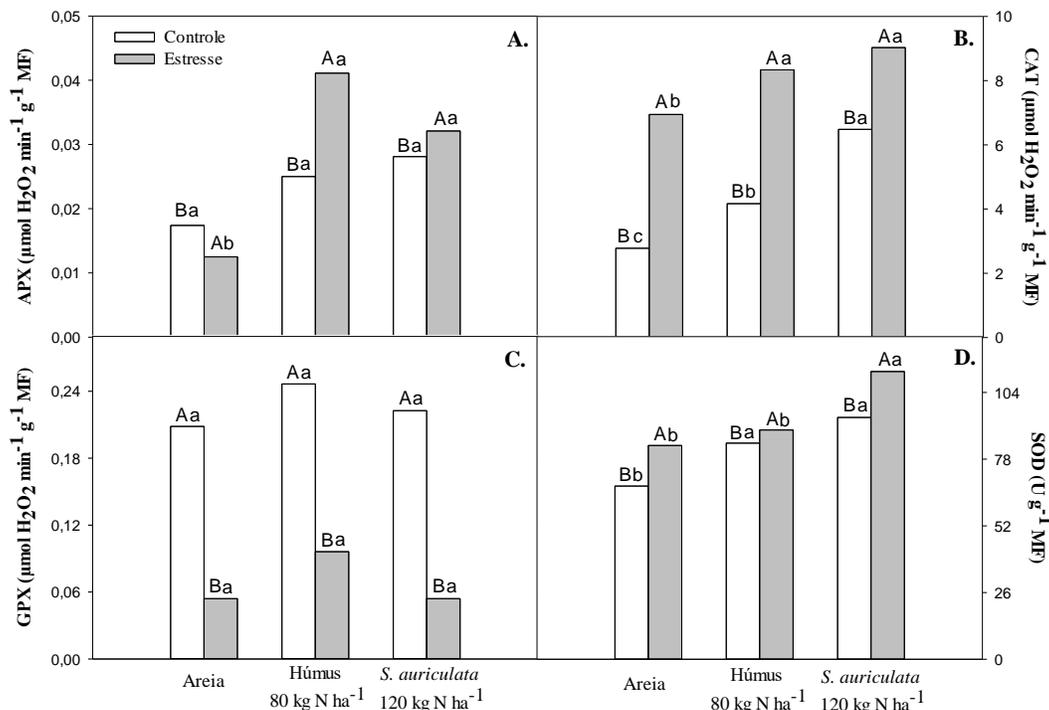
De acordo com a análise de variância, verificou-se que houve efeito significativo para as atividades das enzimas APX em folhas no fator Substrato (S) e Irrigação (I) e na interação (S x I). Enquanto para enzima CAT e SOD só não houve efeito significativo para a interação (S x I). Para as atividades de GPX

em folhas só houve efeito significativo ao nível de ($P \leq 0,05$) no fator Substrato (S).

Sob condições de estresse, a atividade enzimática de APX foi mais elevada nos tratamentos areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹ e areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹ (Figura 2A). Este fator sugere uma melhor resposta de defesa para as plântulas de girassol, levando em consideração que através da dismutação do superóxido pela enzima SOD, a enzima APX pode ter reduzido e removido o H₂O₂ através do ascorbato como redutor (YOSHIMURA et al., 2000).

Os resultados encontrados indicaram que a atividade de CAT foi maior para todos os tratamentos em condição de estresse, sendo maior nos tratamentos suplementados com húmus e *Salvinia auriculata* (Figura 2B). O significativo aumento da atividade de CAT nos referidos tratamentos demonstrou relevância, visto que houve maior eliminação de H₂O₂ produzido durante a fotorrespiração (MONTEIRO et al., 2018) quando comparado às demais enzimas analisadas. Esta enzima somente é ativada sob condições de estresse elevado (BARBOSA et al., 2014), o que sugere que os substratos orgânicos podem aumentar a sobrevivência do girassol em períodos de escassez de água, intensificando a aclimação das plântulas ao estresse.

Figura 2. Atividade das enzimas peroxidase do ascorbato - APX (A), catalase - CAT (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em folhas de plântulas de girassol ao 5^a dia após a suspensão da irrigação (aos 21 dias após a semeadura). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). CV (%) APX: 28,17; CV (%) CAT: 13,32; CV (%) GPX: 43,39 e CV (%) SOD: 8,63.



A atividade enzimática da GPX nas folhas foi maior nos tratamentos sob condição controle, sem diferenciação quanto ao tipo de substrato (Figura 2C). A partir dos resultados

encontrados, verificou-se que os mesmos foram relativamente baixos quando comparado ao trabalho de Júnior et al. (2017), que encontraram valores na ordem de 1,6 a 2,8 μmol H₂O₂ min⁻¹ g⁻¹

MF. Complementa-se que apesar do déficit hídrico imposto, a temperatura relativamente mais baixa nas raízes quando comparada à parte aérea das folhas pode ter promovido menor atividade da enzima (ZANDALINAS et al., 2017).

A atividade da SOD nas folhas das plântulas de girassol foi maior nos tratamentos sob condição de estresse, em especial, nas plântulas suplementadas com *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹ (Figura 2D). Isso reforça a ideia de que a SOD é a primeira enzima na linha de defesa vegetal, eliminando radicais superóxidos em água e peróxido de hidrogênio (GONÇALVES, 2017), catalisando a dismutação de O^{2•-} para H₂O₂ e O₂ em todos os compartimentos subcelulares (GILL et al., 2015).

De acordo com a análise de variância, constatou-se efeito significativo para todas as enzimas analisadas em raízes no fator Substrato (S). Quanto ao fator Irrigação (I) e a interação (S x I) só houve efeito significativo ao nível de ($P \leq 0,05$) para a enzima CAT. Para as demais enzimas (APX, GPX e SOD), no fator Irrigação (I) e na interação (S x I), não houve diferença estatística a 5% de probabilidade.

De modo geral, observou-se (Figura 3) que houve atividade enzimática nas raízes para todas as enzimas estudadas sob condições de estresse hídrico. Contudo, somente a atividade enzimática de CAT demonstrou diferenças em virtude do tipo de substrato e da condição de irrigação empregada.

Verificou-se nas raízes das plântulas de girassol suplementadas com *Salvinia auriculata* as maiores atividades da APX (Figura 3A), tanto em condição controle quanto estresse. Com relação à atividade de GPX, constatou-se que a utilização

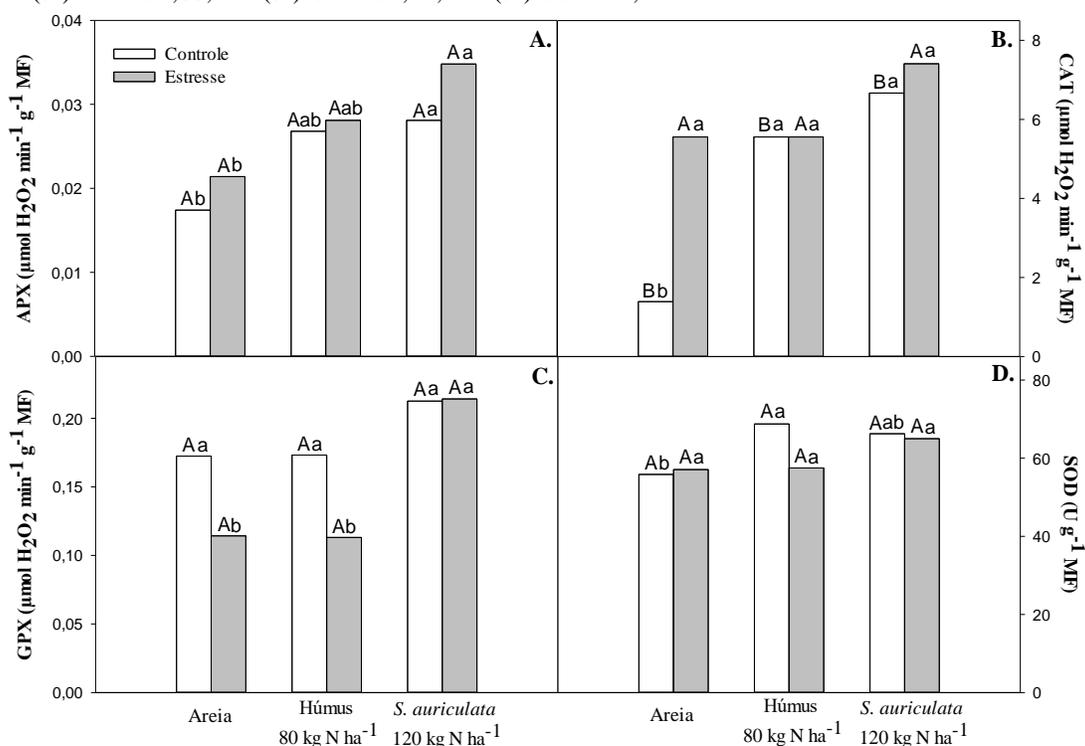
da macrófita se sobressaiu aos demais tratamentos sob condição de estresse, com incrementos de aproximadamente 50% em comparação ao húmus e à areia (Figura 3C).

Quanto à CAT nas raízes (Figura 3B), foi perceptível que a suplementação orgânica com húmus e *Salvinia auriculata* promoveram aumentos na atividade da enzima, tendo maior ênfase na condição de estresse hídrico, com atividades na ordem de 5,5 a 7,5 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ para a CAT. Isso comprova ter havido maior eliminação de peróxido de hidrogênio nas plântulas dos respectivos tratamentos em comparação às plantas irrigadas e pressupõe uma relação benéfica da suplementação orgânica aos efeitos deletérios do estresse.

A CAT é considerada a principal enzima a catalisar a eliminação do H₂O₂ (JALEEL et al., 2009), uma vez que sua atividade é efetiva, principalmente, em condições de estresse severo quando os níveis de H₂O₂ são altos, por isso são consideradas indispensáveis para a desintoxicação de ROS (DUBEY, 2011). Inferindo assim os resultados encontrados na pesquisa.

Em consonância ao trabalho, Nunes Junior et al. (2017), avaliaram os efeitos da suplementação com percolado no metabolismo antioxidativo em plântulas de girassol, verificaram que os tratamentos com maiores concentrações de N apresentaram maiores atividades de CAT. Deste modo, sugere-se que elevadas atividades da CAT em plântulas sob condições de estresse podem representar uma melhor capacidade de aclimação vegetal.

Figura 3. Atividade das enzimas peroxidase do ascorbato – APX (A), catalase – CAT (B), peroxidase do guaiacol – GPX (C) e superóxido dismutase – SOD (D) em raízes de plântulas de girassol ao 5^a dia após a suspensão da irrigação (aos 21 dias após a semeadura). Informações adicionais na figura 1 e 2. As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha⁻¹; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha⁻¹), de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). CV (%) APX: 38,27; CV (%) CAT: 31,88; CV (%) GPX: 32,77; CV (%) SOD: 12,42



A atividade da SOD nas raízes foi modulada diferente à das folhas. Na condição controle a enzima foi influenciada pelos tipos de substratos utilizados, já na condição de estresse hídrico os tratamentos não diferiram entre si (Figura 3D). Nascimento (2019) ao avaliar plantas jovens de paricá (*Schizolobium amazonicum*) submetidas à diferentes doses de cádmio, também observou que a atividade da SOD apresentou resposta diferente entre folha e raiz, mostrando-se maior nas folhas e diminuindo nas raízes. Visto que a ação da SOD resulta na formação de H₂O₂, ela está também intimamente ligada à atividade da catalase e peroxidases, as quais eliminam o H₂O₂, e por meio da interação com essas e outras enzimas antioxidantes garantem um balanço altamente otimizado, de forma a reduzir o risco de danos oxidativos (GOMES-JUNIOR, 2006).

Na condição de estresse hídrico, a aplicação do substrato *Salvinia auriculata* promoveu aumentos nas atividades enzimáticas de APX, CAT e SOD nas folhas e de APX e GPX nas raízes em relação aos demais tratamentos. Diversos autores relataram sobre os aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas em plantas e seus benefícios no controle do aumento das ROS e promoção da aclimação das plantas aos estresses abióticos (GONDIM et al., 2012; KANUNGO; JOSHI, 2014; JADOSKI et al., 2015; DOUSSEAU et al., 2016; NUNES JUNIOR et al., 2017; ARAÚJO JUNIOR et al., 2019).

Diante dos resultados expostos foram notórios os aumentos positivos de atividades antioxidativas observados nas raízes e folhas das plântulas suplementadas com *Salvinia auriculata*, em particular as da CAT e SOD nas folhas. Isto posto, é provável que os aumentos nas atividades das enzimas antioxidativas contribuam para minimizar os efeitos deletérios do estresse hídrico nas variáveis de crescimento analisadas (altura, número de folhas e massa fresca total).

CONCLUSÕES

A suplementação com a macrófita *Salvinia auriculata* a 120 kg N ha⁻¹ em condições irrigadas e de estresse hídrico ocasiona aumento no crescimento e nas atividades das enzimas antioxidativas de plântulas de girassol minimizando os efeitos deletérios do estresse hídrico.

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa de pesquisa.

Ao Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Maracanaú pela infraestrutura e recursos humanos necessários.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO JUNIOR, G. do N.; GOMES, F. T.; SILVA, M. J.; JARDIM, A. M. F. da R.; SIMÕES, V. J. L. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; LEITE, M. L. de M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. da. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. PUBVET, v.13, n.1, p.1-10, 2019. [10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10](https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10).

BARBOSA, R. M.; BRITO, P. O. B. de; COSTA, F. R. da S.; FILHO, R. A. P.; JUNIOR, F. H. N.; GONDIM, F. A. Plant Growth, Antioxidative Enzymes and Lipid Peroxidation in Sunflower Seedlings Supplemented With *Eichhornia crassipes* Organic Fertilizer Under Drought Stress Conditions. Journal of Agricultural Science, v.11, n.1, 2019. [10.5539/jas.v11n1p504](https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p504)

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Plant generation and enzymatic detoxification of reactive oxygen species. Ciência Rural, v.44, n.3, p.453-460, 2014. [10.1590/S0103-84782014000300011](https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011)

BILLINGS, W. D. Plants and the Ecosystem. Belmont: Wadsworth. 154 p., 1964.

BRAGA, B. B.; JUNIOR, F. H. N.; PAIVA, S. I. O.; BARBOSA, R. M.; FILHO, R. A. P.; GONDIM, F. A. Efeitos da suplementação com resíduo da atividade da carcinicultura em plantas de girassol submetidas a condições de estresse hídrico. Irriga, v.22, n.3, p.591-605, 2017. [10.15809/irriga.2017v22n3p591-605](https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p591-605)

CHEN, D.; WANG, S.; CAO B.; CAO, D.; LENG, G.; LI, H.; YIN, L.; SHAN, L.; DENG, X. Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. Frontiers in Plant Science, v. 6, p. 1-15, 2016. [10.3389/fpls.2015.01241](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01241)

MONTEIRO, A. L. R.; DANELLI, A. L. D.; PEREIRA, A. da S.; CASTRO, C. M.; DEBONA, D.; DIANESE, E. de C.; RODRIGUES, F. de A.; FERRAZ, H. G. M.; FILHO, J. V. de A.; MACIEL, J. L. N.; RIOS, J. A.; BADEL, J. L.; DALLAGNOL, L. J.; THUROW, L. B.; GUIMARÃES, L. M. da S.; EIRAS, M.; CERESINI, P. C.; MÖLLER, P. A.; CARVALHO, R. de C. P. Resistência genética: de plantas a patógenos [recurso eletrônico] / org. Leandro José Dallagnol. – Pelotas : Ed. UFPel, 2018.

DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. de S.; PEDROSA, E. M. R.; TABOSA, J. N.; DANTAS, D. da C. Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.4, p.350-357, 2015. [10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p350-357](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p350-357)

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. Environmental and Experimental Botany, v.109, p.212-228, 2015. [10.1016/j.envexpbot.2014.06.021](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021)

DOUSSEAU, S.; RODRIGUES, A. C.; LIRA, J. M. S.; JUNIOR, P. M. R.; PACHECO, F. V.; ALVARENGA, A. A. de; RESENDE, M. L. V.; PAULA, A. C. C. F. F. de. Exogenous chitosan application on antioxidant systems of jaborandi. Ciência Rural, v.46, n.1, p.191-197, 2016. [10.1590/0103-8478cr20131332](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131332)

- DUBEY, R. S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfi eld: Science Publishers, c.9, p.178-203, 2011. [10.1201/9781439854082](https://doi.org/10.1201/9781439854082)
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivar de girassol BRS 323. 2014.
- GILL, S. S.; ANJUM, N. A.; GILL, R.; YADAV, S.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; MISHRA, P.; SABAT, S. C.; TUTEJA, N. Superoxide dismutase—mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v.22, n.14, p.10375-10394, 2015. [10.1007/s11356-015-4532-5](https://doi.org/10.1007/s11356-015-4532-5)
- FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v.72, n.4, p.673-689, 2015. [10.1007/s00018-014-1767-0](https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0)
- FERREIRA, K. S.; RUFINI, J. C. M.; FAGUNDES, M. C. P.; MOREIRA, S. G.; FERREIRA, E. V. de O.; BARBOSA, M. A. P. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleiras em função da aplicação de diferentes doses de nitrogênio e potássio. *Colloquium Agrariae*, v. 15, n.2, p. 37-50, 2019. [10.5747/ca.2019.v15.n2.a283](https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n2.a283)
- FERREIRA, D. F. *Sisvar*. Versão 5.6. Lavras, MG: UFLA/DEX, 2018.
- GOMES-JUNIOR, R. A.; Moldes, C.A.; Delite, F. S.; Pompeu, G. B.; Gratão, P. L.; Mazzafera, P.; Mazzafera, P. J.; Azevedo, R. A. Antioxidant metabolism of coffee cell suspension cultures in response to cadmium. *Chemosphere*, v. 65, p.1330-1337, 2006. [10.1016/j.chemosphere.2006.04.056](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.04.056)
- GONÇALVES, C. G. Modificações morfológicas, fisiológicas e seletividade da soja a diferentes herbicidas em resposta ao estresse hídrico. 2017. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2017.
- GONDIM, F. A.; MIRANDA, R. S.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H₂O₂ leaf spraying is associated with improved gas Exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.25, p.251-260, 2012. [10.1590/S2197-00252013000400003](https://doi.org/10.1590/S2197-00252013000400003)
- GRUNVALD, A. K.; CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, A. C. B.; PIRES, J. L. F.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, I. R. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de girassol convencional e alto oleico na região Sul do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v.57, n.3, p.217-223, 2014. [10.4322/rca.ao1270](https://doi.org/10.4322/rca.ao1270)
- HAVIR, E.; McHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. *Plant Physiology*, v.84, n.2, p.450-455, 1987. [10.1104/pp.84.2.450](https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450)
- HUSSAIN, T.; TAN, B.; YIN, Y.; BLACHIER, F.; TOSSOU, M. C.; RAHU, N. Oxidative stress and inflammation: What polyphenols can do for us? *Oxid. Med. Cell Longev.* v.2016, 2016. [10.1155/2016/7432797](https://doi.org/10.1155/2016/7432797)
- JADOSKI, C. J.; RODRIGUES, J. D.; SORATTO, R. P.; SANTOS, C. M. dos; RIBEIRO, E. Ação fisiológica da piraclostrobina na assimilação de CO₂ e na atividade de enzimas antioxidantes em plantas de feijão em diferentes tensões de água no solo. *Irriga*, v.20, n.2, p.319-333, 2015. [10.15809/irriga.2015v20n2p319](https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n2p319)
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R. et al. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture & Biology*, v.11, n.1, p.1-6, 2009.
- NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B. de; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. *Revista Ambiente e Água*, v.12, n.1, p.71-86, 2017. [10.4136/ambi-agua.1964](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964)
- KANUNGO, M.; JOSHI, J. Impact of Pyraclostrobin (F-500) on crop plants. *Plant Science Today*, v. 3, n.1, p. 174-178, 2014. [10.14719/pst.2014.1.3.60](https://doi.org/10.14719/pst.2014.1.3.60)
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, v.57, n.2, p.315-319, 1976. [10.1104/pp.57.2.315](https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315)
- KARUPPANAPANDIAN, T. et al. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Australian Journal of Crop Science*, v.5, n.6, p.709-725, 2011.
- LAXA, M.; LIEBTHAL, M.; TELMAN, W.; CHIBANI, K.; DIETZ, K. The Role of the Plant Antioxidant System in Drought Tolerance. *Antioxidants*, v.8, n.94, 2019. [10.3390/antiox8040094](https://doi.org/10.3390/antiox8040094)
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES, S. S.; LOURENÇO, G. da S.; SILVA, S. S. da. Aspectos de crescimento e produção da mamoneira irrigada com águas salinas e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.6, p.615-622, 2014. [10.1590/S1415-43662014000600008](https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000600008)
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 1.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARENCO J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/ drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climate Change*, v. 129, p. 103-115, 2015. [10.1007/s10584-014-1310-1](https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1)

- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, v. 22, n.5, p. 867-880, 1981. [10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232).
- PYNGROPE, S.; BHOMIKA, K.; DUBEY, R.S. Reactive oxygen species; ascorbateglutathione pool; and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. *Protoplasma*, v.250, n.2, p.585-600, 2013. [10.1007/s00709-012-0444-0](https://doi.org/10.1007/s00709-012-0444-0)
- NASCIMENTO, V. R. do. Avaliação nutricional e sistema antioxidante em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke*) submetidas à diferentes doses de Cádmio. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.
- SANTOS, J. C. C.; SILVA, C. H.; SANTOS, C. S.; SILVA, C. S.; MELO, E. B.; BARROS, A. C. Análise de crescimento e evapotranspiração da cultura do rabanete submetido a diferentes lâminas de água. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.1, p.151-156, 2014.
- SHARMA, P.; JHA, A.B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, v.2012, p.1-26, 2012. [10.1155/2012/217037](https://doi.org/10.1155/2012/217037)
- SHEHAB, G. G.; AHMED, O. K.; EL-BELTAGI, H. S. Effects of Various Chemical Agents for Alleviation of Drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 38, n.1, p. 139-148, 2010. [10.15835/nbha3813627](https://doi.org/10.15835/nbha3813627)
- SILVA, N. E.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, L. F.; VIEIRA, S. A.; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Coordinate changes in photosynthesis; sugar accumulation and antioxidative enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. *Biomass and Bioenergy*, v.45, p.270-279, 2012. [10.1016/j.biombioe.2012.06.009](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.009)
- SIQUEIRA E SILVA, S. M.; JÚNIOR, I. S. de O.; CAVALCANTE, F. de S.; TAVARES, J. A.; FILHO, J. N. Comportamento de cultivares de girassol em condições de sequeiro no estado de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.24, n.1, p.01-08, 2019. [10.12661/pap.2019.005](https://doi.org/10.12661/pap.2019.005)
- SOARES, D.C.F., OLIVEIRA, E.F., SILVA, G.D., DUARTE, L.P., POTT, V.J. and VIEIRA FILHO, S.A. *Salvinia auriculata*: Aquatic bioindicator studied by instrumental neutron activation analysis (INAA). *Applied Radiation and Isotopes*, v.66, n.5, p.561-564, 2008. [10.1016/j.apradiso.2007.11.012](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.11.012)
- SOUZA, J. N. de; BRITO, P. O. B; FERREIRA, G. S; FRANCISCA RAÍSSA DA SILVA COSTA, F. R. da S; MATIAS, L. Q; AMORIM, F. A. Resíduo orgânico de macrófitas como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol. In: V Inovagri International Meeting, Fortaleza, 2019.
- WOLFF, G.; ASSIS, L. R.; PEREIRA, G. C.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. *Planta Daninha*, v. 27, n. 1, p.133-137, 2009. [10.1590/S0100-83582009000100017](https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100017).
- ULLAH, A.; SUN, H.; YANG, X.; ZHANG, X. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, v. 15, p. 271-284, 2017. [10.1111/pbi.12688](https://doi.org/10.1111/pbi.12688)
- YOSHIMURA, K.; YABUTA, Y.; ISHIKAWA, T.; SHIGEOKA, S. Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiology*, v. 123, p. 223-233, 2000. [10.1104/pp.123.1.223](https://doi.org/10.1104/pp.123.1.223)
- ZANDALINAS, S.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Modulation of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat stress tolerance in citrus. *Frontiers in Plant*. 2017. [10.3389/fpls.2017.00953](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00953).
- ZAMPAR, E. J.de O.; ANGELOTTI, P; COSTA, E. J. O.; RIZZARDI, D.; BESEN, M.; ANDRADE, C. A. de B. Avaliação de genótipos de girassol (*heliathus annuus*) em Maringá-PR. In: Encontro Internacional de produção científica. Maringá: UNICESUMAR, 2017.