INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

JANACINTA NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DE MACRÓFITAS COMO FERTILIZANTE SOBRE A FISIOLOGIA E A BIOQUÍMICA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) SUBMETIDAS AOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO

Maracanaú, Ceará
- 2021 –

JANACINTA NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DE MACRÓFITAS COMO FERTILIZANTE SOBRE A FISIOLOGIA E A BIOQUÍMICA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) SUBMETIDAS AOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

ORIENTADOR:

PROF. DR. FRANKLIN ARAGÃO GONDIM

Maracanaú, Ceará

- 2021 –

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D278a de Souza, Janacinta Nogueira.

Análise dos efeitos do uso de macrófitas como fertilizante sobre a fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas aos estresses hídrico e salino / Janacinta Nogueira de Souza. - 2021.

120 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Franklin Aragão Gondim .

1. Estresse Hídrico. 2. Estresse Salino. 3. Girassol. 4. Macrófitas. I. Titulo.

CDD 620.91

JANACINTA NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DE MACRÓFITAS COMO FERTILIZANTE SOBRE A FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) SUBMETIDAS AOS ESTRESSES HÍDRICO E SALINO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em ____/_____/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Franklin Aragão Gondim (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

_____

Roberto Albuquerque Pontes Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

_____

Valdineia Soares Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre me dar forças, me proteger e guiar meus passos, colocando ao meu lado as pessoas certas que me apoiaram e me incentivaram a nunca desistir. Agradeço aos meus pais, João Jacinto e Jacinta, por toda a dedicação, paciência, carinho e companheirismo, de maneira incondicional, durante toda a minha vida. Meus pilares e exemplo de amor e afeto, sem vocês nada disso seria realidade.

Pai, com todo carinho, agradeço por você ter sido cuidadoso e incentivador da minha pesquisa e por ter me ajudado nas coletas e logística na preparação do substrato de macrófitas. Mãe, obrigada por ser esta mulher forte e guerreira, que dia após dia tira qualquer empecilho do meu caminho para tornar esta minha caminhada mais fácil. Eu amo vocês! Agradeço também aos meus irmãos, Jansen e Janerson, por sempre me darem forças e me fazerem acreditar que o final recompensador era certo. Obrigada pela amizade e pela constante motivação.

Agradeço ao meu noivo, eterno namorado e melhor amigo, Jonas Rodrigues, por toda compreensão da importância deste momento, no estar sempre disposto a me ajudar, no cuidado constante demonstrados nos momentos de monitoramento dos meus experimentos. Obrigada amor, sem você me apoiando seria muito mais difícil.

Agradeço à minha família: tios e tias, primos, avós e todos que sempre incentivaram e torceram pelo meu êxito.

Minha imensa gratidão ao programa de pós-graduação de Energias Renováveis do IFCE Campus Maracanaú pela oportunidade de realização da minha pesquisa. Agradeço a Rafaely Alcântara e a Christine Farias por toda ajuda, pelos incansáveis tira-dúvidas e acompanhamento do meu mestrado.

À FUNCAP pela concessão da bolsa de pesquisa, na qual foi primordial para que meu empenho com dedicação exclusiva à pesquisa. Meus agradecimentos.

Agradeço ao meu orientador e amigo, professor dr. Franklin Aragão Gondim, pelo cuidado na orientação, pelos incansáveis incentivos, por todo o aprendizado proporcionado e, acima de tudo, pela confiança. Franklin, muito mais do que ter finalizado este trabalho, você me fez crescer como pessoa e como profissional. Obrigada!

Aos grandes companheiros de laboratório, em especial, ao Paulo Ovídio e à Gabriela de Sousa que me ajudaram e dedicaram seus esforços durante toda a minha

pesquisa, ou melhor, “nossa pesquisa”. Ao Paulo Ovídio, amigo e excelente pesquisador, meu muito obrigada pelo companheirismo e presteza durante todo o mestrado.

Agradeço imensamente a todos os colegas que contribuíram direta ou indiretamente com a execução desta pesquisa, em especial na montagem dos experimentos e realização das análises laboratoriais. Compreendo que sem o nosso trabalho em equipe a minha pesquisa jamais teria sido concluída com tanto êxito.

Agradeço também ao meu professor co-orientador Roberto Albuquerque Pontes Filho que se fez presente ao trabalho, sempre muito prestativo e com conhecimentos e sugestões técnicas e práticas.

Ao professor André Porfírio pela sua imensa atenção e valiosas sugestões. Meu agradecimento de eterno coração à professora dr. Lígia Queiroz Matias e seus colaboradores pela ajuda na identificação das espécies de macrófitas e por toda presteza.

Um agradecimento especial e cheio de amor à minha amiga e grande admiradora: Antônia Tatiana pelas conversas prazerosas, pelos conselhos certos nas horas certas.

Enfim, a todos que fizeram deste sonho uma realidade, o meu...

“Muito Obrigada”!

RESUMO

SOUZA, J. N. de. **Análise dos efeitos do uso de macrófitas como fertilizante sobre a fisiologia e a bioquímica de plantas de girassol (Helianthus annuus L.) submetidas aos estresses hídrico e salino.** Orientador: Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. (Dissertação). 2021.

Este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da utilização de espécies variadas de macrófitas na fisiologia e bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) crescendo sob condições controle (irrigadas), de estresse hídrico (não irrigadas) e de estresse salino (50 e 100 mM de NaCl). A presente dissertação foi dividida em três experimentos que resultaram na produção de três capítulos, cada um correspondendo a um artigo científico. Os experimentos foram conduzidos em telado agrícola, localizado na cidade de Maracanaú, no estado do Ceará, Brasil, utilizando sementes de girassol, cultivar e BRS 323, cedidas pela Embrapa Produtos e Mercado. No primeiro experimento, realizou-se a análise comparativa entre espécies de macrófitas (*Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* e um composto misto das espécies) como substrato visando à escolha daquela que proporcionasse melhor crescimento do girassol. Dos resultados encontrados, para as variáveis biométricas (altura, diâmetro, número de folhas, teores relativos de clorofila e produção de massa seca), a utilização de *Salvinia auriculata* a 150% da recomendação de nitrogênio (120 kg N ha^{-1}) se mostrou mais eficiente às condições experimentais empregadas, sendo, dessa forma, utilizada nos experimentos posteriores em condições de estresse hídrico e salino, cuja concentração foi baseada no teor de nitrogênio (N) total desse composto. No segundo experimento, avaliaram-se os parâmetros biométricos (altura e número de folhas), a produção de matéria fresca e a atividade enzimática (APX, GPX, CAT e SOD) em plântulas de girassol suplementadas com *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1} e submetidas a estresse hídrico (imposto pela suspensão da irrigação). Constatou-se 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 *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1} minimizou os efeitos deletérios do estresse hídrico no crescimento das plântulas de girassol. No terceiro experimento, foram analisadas as respostas do cultivar BRS 323 em substrato de *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1} como fonte de N, à condição de estresse salino nos parâmetros biométricos, de fitomassa e em atividade enzimática

(APX, GPX, CAT e SOD). Os resultados demonstraram que o aumento das concentrações de NaCl provocou decréscimos na produção de massa seca e aumento nas atividades das enzimas antioxidativas, principalmente nas plantas que receberam suplementação com *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}, sugerindo, dessa forma, minimização dos efeitos deletérios do estresse salino no crescimento vegetal.

Palavras-chave: Estresse Hídrico; Estresse Salino; Girassol; Macrófitas.

ABSTRACT

SOUZA, J. N. de. **Analysis of the effects of the use of macrophytes as fertilizer on the physiology and biochemistry of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants submitted to hydric and saline stresses.** Advisor: Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. (Dissertation). 2021.

The objective of this work was to analyze the effects of various macrophyte species on the physiology and biochemistry of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants growing under control (irrigated), hydric stress (non-irrigated) and salt stress (50 and 100 mM NaCl) conditions. The present dissertation was divided into three experiments that resulted in the production of three chapters, each corresponding to a scientific article. The experiments were conducted in an agricultural shed, located in the city of Maracanaú, in the state of Ceará, Brazil, using sunflower seeds, cultivar and BRS 323, provided by Embrapa Produtos e Mercado. In the first experiment, a comparative analysis between macrophyte species (*Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* and a mixed composite of the species) was performed as substrate aiming to choose the one that would provide better sunflower growth. From the results found, for the biometric variables (height, diameter, number of leaves, relative chlorophyll contents and dry mass production), the use of *Salvinia auriculata* at 150% of the nitrogen recommendation (120 kg N ha^{-1}) proved to be more efficient under the experimental conditions employed. Thus, it was used in the subsequent experiments under hydric and salt stress conditions, whose concentration was based on the total nitrogen (N) content of this compost. In the second experiment, we evaluated biometric parameters (height and number of leaves), fresh matter production and enzyme activity (APX, GPX, CAT and SOD) in sunflower seedlings supplemented with *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1} and subjected to hydric stress (imposed by suspension of irrigation). Increases in height, number of leaves and total fresh mass were observed. Furthermore, there were increases in the activities of antioxidative enzymes in leaves and roots of sunflower seedlings, inferring that supplementation with the macrophyte *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1} minimized the deleterious effects of hydric stress on the growth of sunflower seedlings. In the third experiment, the responses of BRS 323 cultivar in *Salvinia auriculata* substrate 120 kg N ha^{-1} as N source, to salt stress

condition were analyzed in biometric parameters, phytomass and enzyme activity (APX, GPX, CAT and SOD). The results showed that the increase in NaCl concentrations provoked decreases in the production of dry mass and increases in the activities of antioxidative enzymes, especially in plants that received supplementation with *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}, suggesting, in this way, minimization of the deleterious effects of salt stress on plant growth.

Keywords: Hydric Stress; Salt Stress; Sunflower; Macrophytes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espécies de macrófitas utilizadas na pesquisa: *Cyperus auriculatus* (A), *Salvinia auriculata* Aubl. (B) e a *Thalia geniculata* (C). 23

CAPÍTULO I

MACRÓFITAS COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL

Figure 1. Sunflower seedlings submitted to different types and concentrations of macrophytes as source of N-total at 21 Days After Sowing (DAS). 63

Figure 2. Height of aerial part of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 Days After Sowing (DAS). 64

Figure 3. Number of sunflower seedling leaves in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha-1) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS). 65

Figure 4. Stem diameter of sunflower seedling collar in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS). 65

Figure 5. Relative Chlorophyll contents of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS). 66

Figure 6. a) Shoot Dry Mass, b) Dry Mass of Root and of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS). 67

CAPÍTULO II

SUPLEMENTAÇÃO COM *Salvinia auriculata* REDUZ OS EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLÂNTULAS DE GIRASSOL

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 ($P \leq 0,05$)..... 79

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 aos 5ª dias após a suspensão da irrigação (aos 21 dias após a semeadura). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas no 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 ($P \leq 0,05$). 82

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 5ª 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 ($P \leq 0,05$)..... 84

CAPÍTULO III

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA ANTIOXIDATIVA DE PLÂNTULAS DE GIRASSOL SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO SUPLEMENTADAS COM *Salvinia auriculata*

Figura 1 - Massa de matéria seca da parte áerea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) de plântulas de girassol cultivar BRS 323 em função dos diferentes níveis de salinidade (0, 50 e 100 mM de NaCl) e substratos (areia, húmus e *Salvinia auriculata*). Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$). 100

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 sob condições controle e estresse salino. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$). 104

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 sob condições controle e estresse salino. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$). 106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

MACRÓFITAS COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL

Table 1. Physical and chemical characterization of macrophytes used in the experiment 62

CAPÍTULO II

SUPLEMENTAÇÃO COM *Salvinia auriculata* REDUZ OS EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLÂNTULAS DE GIRASSOL

Tabela 1. Caracterização química dos substratos utilizados no experimento 77

CAPÍTULO III

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA ANTIOXIDATIVA DE PLÂNTULAS DE GIRASSOL SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO SUPLEMENTADAS COM *Salvinia auriculata*

Tabela 1. Características químicas da macrófita *Salvinia auriculata* e do húmus comercial acrescido à areia de granulometria fina utilizados para a composição dos substratos para plantas de girassol. 98

Tabela 2. Resumo das análises de variância da produção de massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e massa seca total (MST) de plântulas de girassol cultivar BRS 323 em função dos diferentes níveis de salinidade (0, 50 e 100 mM de NaCl) e substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}). 100

Tabela 3. Resumo das análises de variância das atividades das enzimas peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX) e superóxido dismutase (SOD) em folhas de plântulas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}) sob condições de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl). 103

Tabela 4. Resumo das análises de variância das atividades das enzimas peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX) e superóxido dismutase (SOD) em raízes de plântulas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}) sob condições controle e estresse salino (0, 50 e 100 mM de NaCl). 106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

APA - Altura da parte aérea

APX - Ascorbato Peroxidase

B - Boro

C - Carbono

Ca - Cálcio

CAT - Catalase

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

CE - Condutividade elétrica

CL - Teores relativos de clorofila

Cl - Cloro

Cu - cobre

DAS - Dias após a semeadura

DC - Diâmetro do coleto

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EROs - Espécies Reativas de Oxigênio

Fe - Ferro

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GPX - Glutationa Peroxidase

H - Hidrogênio

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

LdL - Low density lipoprotein

K - Potássio

MDA - Redução de Peroxidação Lipídica da Membrana

MFPA - Matéria Fresca da Parte Aérea

MFR - Matéria Fresca da Raiz

MFT - Matéria Fresca Total

MSPA - Matéria Seca da Parte Aérea

MSR - Matéria seca da raiz

MST - Matéria Seca Total

NBR - Norma Brasileira

N - Nitrogênio

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

Mo - Molibdênio

NF - Número de Folhas

O - Oxigênio

P - Fósforo

PNPB - Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel

RN - Recomendação de Nitrogênio

ROM - Resíduo Orgânico de Macrófita

ROS - *Reactive Oxygen Species* (Espécies Reativas de Oxigênio)

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

S - Enxofre

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente do Ceará

SOD - Superóxido Dismutase

Zn - Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 17

1. REVISÃO DE LITERATURA 20

1.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU) 20

1.2 Macrófitas 21

1.2.1. Macrófitas utilizadas na pesquisa 23

1.3 Uso de macrófitas na agricultura 24

1.4 Cultura do Girassol 26

1.5 O estresse hídrico em plantas 29

1.5.1. Efeitos do estresse hídrico no crescimento vegetal 29

1.5.2. Mecanismo de defesa das plantas ao estresse hídrico 31

1.6 O estresse salino em plantas 32

1.6.1. Efeitos do estresse salino no crescimento vegetal 33

1.6.2. Mecanismos de defesa das plantas ao estresse salino 34

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

3. OBJETIVOS 55

3.1 Objetivo geral 55

3.2 Objetivos específicos 55

4. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL 56

Capítulo I 57

Capítulo II 73

Capítulo III 93

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 115

6. ANEXOS 116

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é atualmente um dos maiores problemas ambientais e sua gestão nas próximas décadas tornou-se um desafio para as cidades (SANTIAGO; DIAS, 2012). Como consequência do atual estilo de vida da sociedade, observa-se a elevada produção de resíduos orgânicos que geralmente são dispostos de forma inadequada. Contudo, poderiam ser aproveitados diversos fins econômicos e ecologicamente sustentáveis atendendo às demandas agrícolas (SOUZA, 2017).

No Brasil os resíduos orgânicos, por não serem coletados separadamente, acabam sendo encaminhados para disposição final juntamente com os resíduos domiciliares (ZAGO; BARROS, 2019). Assim, a destinação aos aterros sanitários configura-se como a principal alternativa de destinação dos RSU. Entretanto, essa forma de destinação gera despesas que poderiam ser evitadas (BRASIL, 2012), além do lixiviado de aterro sanitário e do gás metano, que são potencialmente contaminantes ao ambiente (MOREIRA *et al.*, 2011).

As macrófitas são vegetais aquáticos com grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, sendo encontradas em águas doces, salgadas e salobras (ESTEVES, 1998; THOMAZ; ESTEVES, 2011). Contudo, devido à eutrofização dos corpos hídricos com consequente proliferação, as macrófitas podem se tornar resíduos orgânicos e ocasionar problemas de destinação.

A presença de matéria orgânica na composição das macrófitas pode possibilitar a utilização como fonte de nutrientes na agricultura. Entretanto, as macrófitas podem acumular metais e organismos patogênicos em sua biomassa, deste modo, é necessário um minucioso estudo de viabilidade no uso dessa biomassa principalmente como ração animal ou fertilizante (POMPEO *et al*., 2017).

Além do C (carbono), O (oxigênio) e H (hidrogênio), treze elementos minerais são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo estes divididos por aspectos quantitativos em macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (FAQUIN, 2005). O nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes responsáveis pelo processo de

eutrofização (VON SPERLING, 1996a, b; BERGAMASCO *et al.*, 2011; HUERTA *et al.*, 2013; LOPEZ-DOVAL *et al.*, 2016).

O nitrogênio, em especial, é considerado um elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas (MIFLIN & LEA, 1976; HARPER, 1994). Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Conjuntamente, a redução dos custos de produção com fertilizantes químicos é uma alternativa promissora a ser considerada para a destinação agrícola de resíduos orgânicos (MORAES *et al.*, 2012), como no caso das macrófitas.

Segundo Oliveira (2017) os solos semiáridos, em sua maioria, são rasos, pouco desenvolvidos, susceptíveis à erosão e à salinidade. Além disso, apresentam baixos teores em matéria orgânica (HERNANDÉZ *et al*., 2015). Lobo *et al.* (2015) afirmam que a incorporação de matéria orgânica tem sido a solução mais comum para contribuir para a fertilidade do solo, pois cria condições favoráveis às plantas, aos organismos do solo e ao restabelecimento de ciclo biogeoquímicos no local a ser vegetado (ADANI *et al.*, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2007).

Assim, faz-se imprescindível a identificação e utilização de recursos voltados à fertilização orgânica, bem como a adoção de cultivares tolerantes às condições edafoclimáticas da região semiárida brasileira.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) encontra-se entre as quatro culturas de maior produção de óleo no mundo (VERAS, 2017). Além disso, é considerado uma boa alternativa de cultivo no Brasil por ser uma espécie de fácil aclimatação às diferentes condições, aliada à ampla utilização para os mais variados fins (PEIXOTO *et al*., 2013), como alimento humano (GRILO *et al*., 2014), como matéria-prima para a produção do biodiesel (FERRARI; SOUZA, 2009; HARRIS *et al*., 2016) e como alimento para animais (OLIVEIRA *et al*., 2015).

A cultura apresenta ciclo curto, alta qualidade e quantidade de óleo produzido, indicando-a como uma boa opção de renda aos produtores brasileiros (SILVA *et al*., 2007).

Diante do contexto, a pesquisa teve como objetivo testar diferentes espécies de macrófitas encontradas na lagoa de Maracanaú - Ceará como forma de adubação no

cultivo de girassol, analisando o crescimento e desenvolvimento vegetal, assim como o efeito dessa adubação em condições de estresse hídrico e salino. A pesquisa se mostra relevante tanto pelo caráter sustentável, estimulando ações de educação ambiental, uma vez que a utilização de macrófitas, como forma de adubação, garante uma destinação oportuna a esses resíduos; quanto utilizar uma metodologia de baixo custo e de fácil produção, até em pequena escala, podendo ajudar pequenos agricultores e empoderar pequenas comunidades.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU)

São considerados resíduos sólidos todos os materiais resultantes da atividade humana nos diversos setores da sociedade, abrangendo desde os resíduos gerados nos domicílios, hospitais, obras de construção civil, agrícola, comercial e industrial (ALVES *et al.*, 2015).

O aumento da quantidade e diversidade de resíduos produzidos mundialmente seguem a lógica do sistema capitalista (SOUZA, 2017). Cerca de 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são geradas por ano na Terra e essa quantidade poderá dobrar em 2025 (GARDNER, 2012).

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe revelam que no Brasil foram gerados 79 milhões de toneladas de RSU em 2018, sendo 92% dos resíduos coletados. Porém, somente 59,5% desses RSU (43,3 milhões de toneladas) receberam destinação adequada em aterros sanitários, o restante (40,5%) acabou indo para lixões ou aterros controlados, tornando precussores na degradação dos recursos naturais, em especial, em áreas de aterros sanitários e depósitos irregulares, aumentando, assim, a insalubridade dos ambientes urbanos (SOUZA, 2019). Ainda de acordo com o panorama da Abrelpe (2019) o Estado do Ceará gerou 5.400 toneladas em 2018.

Apesar dos estudos de composição gravimétrica não ocorrerem com constância e padronização, existindo pouca informação sobre a geração e a destinação da fração orgânica no país, o IBGE (2010) mostra que as análises gravimétricas revelam frequência significativa da fração composta de materiais orgânicos (restos de alimentos, podas e outros putrescíveis), representando em média mais de 50% do total dos resíduos coletados. Mesmo em cidades com maior grau de industrialização, como São Paulo, a porcentagem dos resíduos orgânicos ainda é muito alta (57,5%) (AGOSTINHO *et al.*, 2013).

De acordo com o último panorama da Abrelpe (2020) a fração orgânica (compostável) somou 45,3%, representando a maior parcela na composição física dos resíduos sólidos urbanos brasileiros.

Segundo o último Plano Estadual de Resíduos Sólidos da Secretaria do Meio Ambiente – SEMA (2015), apenas 21,4%, 6 (seis) municípios cearenses, possuem formas mais aproximadas do que disciplina a lei no 12.305/2010, ou seja, a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários. Metade desses municípios utiliza aterros considerados sanitários (Caucaia, Maracanaú e Sobral).

O aterro sanitário, segundo a NBR 8419/1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é uma técnica de disposição de RSU no solo que minimiza os impactos causados ao meio ambiente. Ainda segundo a norma, trata-se de um método de engenharia que consiste em confinar os resíduos no menor espaço possível, cobertos por uma camada de terra.

Apesar dos aterros sanitários serem os meios mais utilizados para a disposição de RSU, as frações orgânicas incluindo a biomassa vegetal das macrófitas, poderia receber uma destinação mais proveitosa e menos onerosa do ponto de vista agronômico. Podendo ser uma alternativa de apoio aos municípios na revitalização de área verdes e implantação de projetos.

Diante do contexto, é justificável e necessário ações de políticas públicas voltadas à implantação de uma gestão consolidada de resíduos sólidos que contemple a coleta seletiva, a redução e a reutilização desses resíduos, de forma a fortalecer o potencial econômico, social e ambiental e a atender os aspectos legais e jurídicos relacionados (SOUZA, 2017).

1.2 Macrófitas

As macrófitas aquáticas representam um grande grupo de organismos que crescem em águas interiores e salobras, estuários e águas costeiras (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008; THOMAZ; ESTEVES, 2011). Apresentam grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, sendo encontradas até mesmo em ambientes alterados, como em lagoas provenientes da cava de exploração de carvão ou em barragens de rejeito de mineração (ESTEVES, 1998).

As macrófitas aquáticas são produtores primários e fornecem habitat e refúgios para o perifíton, zooplâncton, outros invertebrados, peixes e rãs (ARAÚJO-LIMA *et al*., 1986; MESCHIATTI *et al*., 2000; PETR, 2000; BORNETTE; PUIJALON, 2009).

As plantas aquáticas também desempenham funções-chave nos ciclos biogeoquímicos, como na produção de carbono orgânico e na mobilização de fósforo, influenciando diretamente a hidrologia e a dinâmica dos sedimentos através de seus efeitos sobre o fluxo de água dos ecossistemas de água doce (DEMARTY; PRAIR, 2009; ESTEVES; SUZUKI, 2010; MARINHO *et al*., 2010). As macrófitas aquáticas também acumulam metais (POMPÊU, 2017).

Recebem diversas terminologias tais como hidrófitas, helófitas, euhidrófitas, limnófitos, plantas aquáticas, macrófitas, macrófitas aquáticos, entre outros (ESTEVES, 1998; THOMAZ; ESTEVES, 2011). Porém, segundo Pompêo e Moschini-Carlos (2003), o termo macrófitas aquáticas ou simplesmente macrófitas pode ser considerado de uso mais corrente.

As macrófitas são preferencialmente classificadas quanto ao seu biótopo (POMPÊU, 2017). Essa classificação reflete, principalmente, o grau de adaptação ao meio aquático (ESTEVES, 1998; THOMAZ; ESTEVES, 2011). Em que de acordo com Rodrigues (2011), em trabalhos voltados para a relação da comunidade de macrófitas aquáticas com o ambiente, nota-se preferência no uso do sistema de classificação descrito por Esteves (1998), posteriormente mantido em Thomaz e Esteves (2011).

A distinção de macrófitas aquáticas em diferentes grupos reflete a distribuição organizada e paralela à margem, permitindo observar um gradiente da margem para o interior do lago, passando pelas macrófitas aquáticas emersas, de folhas flutuantes, às submersas livres e, por último, às flutuantes (ESTEVES, 1998; THOMAZ; ESTEVES, 2011). As macrófitas aquáticas enraizadas têm a habilidade de assimilar nutrientes presentes no sedimento, e as macrófitas aquáticas flutuantes retiram nutrientes diretamente da massa de água (POMPÊU, 2017).

Em regiões tropicais com regime térmico e luminoso favoráveis, as macrófitas aquáticas crescem durante todo o ano (ESTEVES; CAMARGO, 1986). O crescimento dessas espécies é uma importante estratégia competitiva para colonizar uma dada região. Assim, para minimizar a competição por espaço, nutrientes, luz, *etc*., Neiff (1990), observou que o crescimento não ocorre no mesmo período para as diversas plantas que coexistem no ecossistema aquático, com algumas macrófitas aquáticas adaptando-se rapidamente à subida das águas, crescendo vigorosamente.

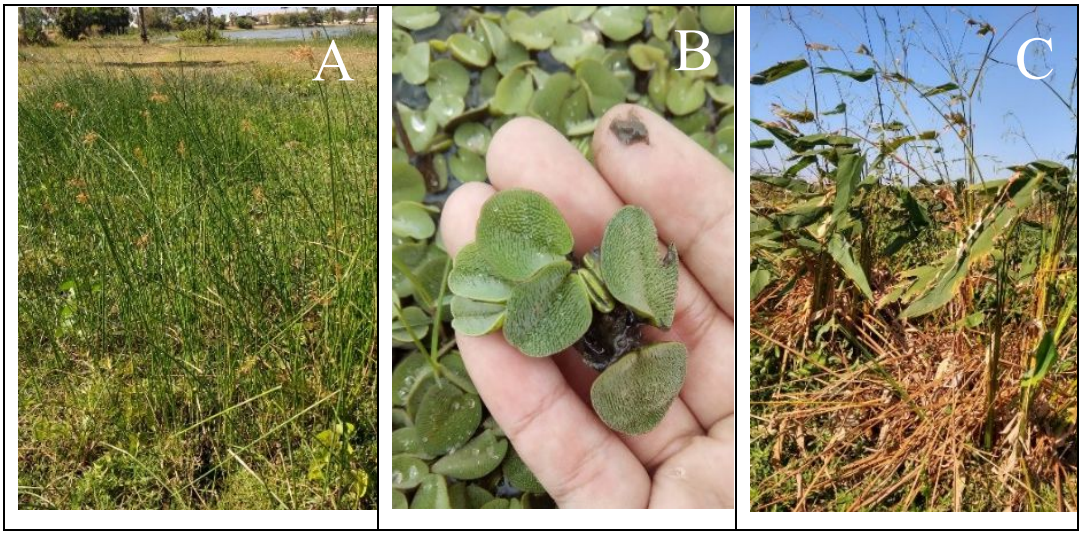
Biudes e Camargo (2008) consideram a temperatura como um importante fator ambiental limitante à produção primária de macrófitas. Verificaram que em regiões tropicais, as variações sazonais de pluviosidade e nível de água também têm se mostrado importantes fatores responsáveis pela variação sazonal da biomassa e produtividade das macrófitas aquáticas. Também apresentam discussões sobre a importância da radiação fotossinteticamente ativa, da velocidade de corrente, dos teores de nitrogênio, fósforo e carbono inorgânico dissolvidos no meio, como fatores explicativos da produtividade primária de macrófitas aquáticas. Tavechio e Thomaz (2003) assim como Hirata (2011) afirmam que a luz também é importante fator explicativo da presença e biomassa de macrófitas aquáticas, particularmente para as submersas.

1.2.1. Macrófitas utilizadas na pesquisa

As espécies de macrófitas foram coletadas no entorno da lagoa de Maracanaú, Ceará, Brasil por meio de coletas manuais durante a estação seca (dezembro de 2018 e outubro de 2019) e identificadas pelo Herbário Prisco Bezerra. As espécies utilizadas na pesquisa são demonstradas na figura 1.

Devido a diversidade e a distribuição sazonal das macrófitas, implicando em distribuições irregulares, foram utilizadas espécies de macrófitas encontradas em maior abundância. Essa distribuição sazonal das espécies influência nas adaptações morfológicas, anatômicas e ecofisiológicas, variando de acordo com o nível da água (CRONK; FENNESSY, 2001; SCREMIN-DIAS, E. A, 2000; SCREMIN-DIAS, E., 2009), declividade da lagoa (ESTEVES, 1998), uma vez que propiciam instabilidade do sedimento, agitação da água e do fundo (HUTCHINSON, 1775) e ação das ondas sobre as margens (KEDDY, 1984) que atuam na formação de agrupamentos de plantas aquáticas.

Figura - 1. Espécies de macrófitas utilizadas na pesquisa: *Cyperus auriculatus* (A), *Salvinia auriculata* Aubl. (B) e a *Thalia geniculata* (C).



Fonte: Própria, 2020.

A *Cyperus auriculatus* (Figura 1A) é uma espécie da família Cyperaceae, possui sistema subterrâneo complexo o que permite uma eficiente propagação vegetativa (GOETGHEBEUR, 1998). Representa uma espécie competitivamente dominante e possui função primordial para a estabilização dos sedimentos, principalmente nas margens, podendo exercer importância estrutural quando ocorrer a recomposição de áreas alteradas (MATIAS *et al*., 2003).

Conhecida popularmente como orelha-de-onça ou salvínia, a *Salvinia auriculata* (Figura 1B) é uma espécie livre e flutuante, comum em água doce e sob condições favoráveis é rapidamente disseminada por propagação vegetativa (WOLFF *et al*., 2009).

Quanto a *Thalia geniculata* (Figura 1C) é uma planta perene e bastante utilizada em ornamentação, amplamente distribuída por todo o território nacional, comum em áreas de águas tropicais e subtropicais, em especial, durante a primavera e o verão, porém, carece de estudos fitoquímicos e bromatológicos (KINUPP, 2007; SEELIGER *et al.*, 1998). Dependendo das condições ambientais, pode chegar a 2,0 m de altura (ZEILHOFER; SCHESSL, 2000).

1.3 Uso de macrófitas na agricultura

Há no Brasil inúmeras experiências e propostas exitosas de uso da biomassa das macrófitas como fertilizante para agricultura (GOMES *et al*., 1987; GUIMARÃES, 2000; MEES *et al*., 2009; POMPÊO, 1999, 2008; SAMPAIO e OLIVEIRA, 2005;

SAMPAIO *et al*., 2007; TANAKA, 2009; SILVA *et al*., 2011b). Pompêo (2017) afirma a viabilidade de diferentes usos, tais como: biossorção, fitorremediação, fitoquímica (remédios), fertilizantes para a vegetação, biogás, fertilizantes para tanques de piscicultura e uso como ração animal.

Contudo, a presença de metais ou organismos patogênicos na biomassa de macrófitas aquáticas representam riscos à saúde dos animais e do próprio homem. Assim, devido à capacidade de bioacumulação de metais (POMPÊO, 2017), é necessário um minucioso estudo de viabilidade no uso dessa biomassa vegetal de macrófitas principalmente para uso como ração animal ou como fertilizante, podendo, a depender da concentração e origem, limitar seu aproveitamento para essa finalidade.

Os resultados positivos de aumentos na produtividade vegetal encontrados, normalmente estão relacionados à presença de matéria orgânica e nitrogênio (WEBER *et al*., 2014). As macrófitas aquáticas são responsáveis pela maior parte da produção de matéria orgânica nos ambientes lacustres (WETZEL, 1990). O aumento nas concentrações de nitrogênio se deve ao alto teor deste nutriente nas bactérias, nos fungos, nas diatomáceas perifíticas e na microfauna que coloniza os detritos (ESTEVES, 1998). Essas liberações de nutrientes (especialmente N e P) estão relacionadas à hidrossolubilização das frações protoplasmáticas dos detritos vegetais (SILVA *et al*., 2011a).

Uma tendência de aumento das concentrações de nitrogênio durante a decomposição de *Juncus efusus* foi observada por Kuehn e Suberkropp (1998). Davis e Van Der Valk (1978) reportaram rápida liberação de nitrogênio e fósforo durante a decomposição de *Scirpus fluviatilis* e *Typha glauca*. Silva *et al.* (2011a) ao pesquisarem com a *Salvinia auriculata* observaram que a partir do 14º dia houve uma tendência de aumento nas concentrações de nitrogênio.

O composto de macrófitas pode trazer benefícios para os solos, principalmente os arenosos. A análise de macronutrientes e micronutrientes, em tecido vegetal na espécie *Egeria densa*, revelou altos valores de N, Fe, Mn e Zn (HEGEL e MELO, 2016).

Umas das principais aplicações hodiernamente, tem sido através da compostagem e uso sob a forma de fertilizantes, em que o produto final obtido reduz à

metade a massa vegetal processada e pode ser empregado na agricultura ou lançado no solo sem risco ambiental significativo (GUIMARÃES, 2000; SILVA *et al*., 2011b).

Para os RSU, sua destinação na agricultura também é vista como uma alternativa viável economicamente para a destinação final (BARBOSA, 2017; SOUZA, 2019). Barbosa (2019) constatou que o uso de resíduo orgânico de macrófita ocasionou incrementos no crescimento e nas atividades enzimáticas antioxidantivas de plântulas de girassol e proporcionou reduções nos efeitos deletérios do estresse hídrico. Barbosa *et al.* (2017) utilizou resíduo orgânico de *Eichhornia crassipes* L. (aguapé) a 50 e 100% da Recomendação de Nitrogênio (RN), e também observaram maiores crescimentos e teores relativos de clorofila nas plantas de girassol.

Silva *et al*., (2011b) em experimentos sob condições de campo mostraram que a adubação orgânica com macrófitas aquáticas (*Egeria densa*) resultou numa produção de milho maior do que com esterco bovino. A massa de *E. densa* libera maiores quantidades de nutrientes que o esterco já a partir dos primeiros dias da incorporação no solo (SAMPAIO *et al*., 2007).

Pompêo (2017) mostrou que a biomassa de macrófitas tem grande potencial de uso para múltiplas finalidades (usos na biossorção, fitorremediação, fitoquímica -- remédios, fertilizantes para a vegetação, biogás, fertilizantes para tanques de piscicultura e uso como ração animal), contribuindo sobremaneira para poupar fontes não renováveis de energia e de nutrientes, principalmente quando há um aporte constante de biomassa. Também contribui para a melhoria da qualidade das águas e se apresenta como uma alternativa de agricultura sustentável, gerando emprego e renda, particularmente no caso de crescimento controlado. Além de reduzir os gastos com fertilizantes, e, com isso, proporcionando melhores condições para preservação ambiental (OLIVEIRA *et al*., 2000).

1.4 Cultura do Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual originária da América do Norte e Central (ALEXANDRINO *et al*., 2015). Seu cultivo em larga escala no Brasil só teve início nos últimos dez anos (EMBRAPA, 2015).

A planta apresenta um ciclo de vida curto, sendo capaz de se aclimatar às diferentes condições edafoclimáticas (SOUZA *et al.*, 2004). O caule é do tipo herbáceo, ereto e com altura variando entre 0,7 a 4,0 m (OLIVEIRA *et al*., 2005; CASTRO e FARIAS, 2005). Seu sistema radicular é pivotante e profundo (LEITE *et al*., 2007; JARDINI *et al*., 2014).

O ciclo vegetativo varia entre 90 a 130 dias, a depender do cultivar, da data de semeadura e das condições ambientais características de cada região e ano; a inflorescência é do tipo capítulo, com diâmetro de 6 a 50 cm e as sementes são do tipo aquênio, de tamanho, cor e teor de óleo variável (30 a 48%) dependendo do cultivar (OLIVEIRA *et al*., 2005).

De maneira geral, a semente de girassol possui cerca de 45 a 65% de óleo em sua composição (GRUNVALD *et al*., 2014). O óleo é essencialmente rico em ácido linoleico, cerca de 60%, e o consumo humano auxilia na redução do colesterol plasmático e da fração LDL. Contribuindo, assim, para a prevenção da arteriosclerose e problemas cardiovasculares (TURATTI *et al*., 2002).

O girassol é cultivado em todas as regiões brasileiras, porém a Região Centro-Oeste é a principal produtora (CONAB, 2020).

O girassol é uma das espécies oleaginosas mais importantes do mundo e destaca-se como sendo a quarta oleaginosa mais produzida mundialmente, ocupando a quinta maior área de cultivo (TRAVASSOS *et al.*, 2011; VERAS, 2017; (CASTRO; LEITE, 2018) evidenciada por sua alta produção em relação a área plantada (IOCCA *et al*., 2015). Segundo dados apresentados pela CONAB (2020), em 2019, o girassol fechou com produtividade de grãos em 1581 Kg ha^{-1}, enquanto a soja representou mais que o dobro da produção, expressa em 3322 Kg ha^{-1}.

A cultura tem despertado interesses devido à possibilidade de utilizar o seu óleo na fabricação de biocombustíveis, tendo em vista que atualmente a produção de girassol e outras oleaginosas, como a mamona e o algodão, ainda não atendem às demandas correntes do programa de biodiesel (BRASIL, 2019).

Tal demanda está contribuindo para desenvolver novos cultivares de oleaginosas como fonte de matérias-primas complementares à soja considerando os aspectos de densidade energética e as adaptações regionais como base no zoneamento agroecológico para favorecer a expansão da produção em bases sustentáveis, contribuindo com o

crescimento socioeconômico da região e ampliando a oferta de oleaginosas não convencionais no mercado (CASTRO *et al.,*1997; UNGARO, 2006; BRASIL, 2019). O que enobrece o papel ambiental da cultura do girassol como fonte de matéria-prima para a produção de energia renovável.

No território brasileiro, o girassol é propício a quase todos os tipos de clima e solo, podendo ser cultivado em várias épocas do ano (PEREIRA *et al.*, 2014). Nesse contexto, a planta se destaca em relação às outras opções de oleaginosas, em virtude de suas características agronômicas desejáveis e da alta qualidade e quantidade do óleo que produz, sendo, portanto, uma boa opção de renda para os agricultores brasileiros (FREITAS *et al.*, 2013; PEIXOTO *et al*., 2013).

O local de cultivo, o manejo aplicado e a qualidade física da semente são de suma importância no desempenho do girassol, o que vai refletir na produtividade (BEZERRA *et al*., 2014; SANTOS et al, 2015).

Um maior interesse vem sendo dado à cultura do girassol no país, principalmente, após a implantação em 2005 do Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel – PNPB – Lei nº 11.097. A presente lei estabelece a obrigatoriedade do uso parcial e crescente de biodiesel misturado ao diesel fóssil, o que tem impulsionado as discussões em torno do assunto e a busca por novas fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis (OSAKI; BATALHA, 2011).

Devido à rusticidade da cultura e à capacidade de se desenvolver em condições adversas sem manejo especializado (GENTIL *et al.*, 2012), o girassol tem sido bastante empregado nos estudos de viabilidade do uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para plantas (LOBO *et al.*, 2013; STROJAKI *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013).

Devido aos desafios e às estratégias em aproveitar ao máximo as potencialidades da cultura do girassol e à relevância de disponibilização de informações sobre a cultura e sua importância à economia nacional, tendo em vista a obtenção do maior benefício social da produção do biodiesel, evidencia-se a importância de estudos com a finalidade de otimizar as tecnologias às novas oleaginosas a serem exploradas, de forma a incrementar na produtividade e fornecer informações agronômicas acessíveis aos produtores, facilitando as práticas de cultivo bem como orientando pesquisas futuras.

1.5 O estresse hídrico em plantas

Segundo Blum *et al.* (1991), o estresse, do ponto de vista botânico, é definido como um significativo desvio das condições normais para a vida da planta, resultando em mudanças e respostas aos níveis do organismo. Nessa conjuntura, um dos principais fatores causador de estresse nas plantas é a disponibilidade hídrica, em que as plantas podem sofrer danos tanto por excesso como por falta de água. No entanto, o estresse ocasionado por deficiência é mais comum (CAVALCANTE *et al*., 2009).

Com cerca de 95% da biomassa verde das plantas, a água é essencial para os processos fisiológicos e bioquímicos dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2012). Assim, o estresse hídrico é considerado como um dos principais fatores ambientais adversos ao crescimento e à produtividade das espécies vegetais (OLIVEIRA *et al*., 2015a).

De acordo com Burke *et al*. (2006) e Cramer *et al.* (2011), é possível que os estresses abióticos se tornem mais acentuados frente às recentes mudanças no clima do planeta. Diante disso, diversos estudos têm sido realizados no sentido de desenvolver plantas mais tolerantes e/ou capazes de se aclimatarem às diversas condições abióticas (ARAÚJO *et al.*, 2010; XU *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2014).

Deste modo, a aclimatação às condições de estresse envolve alterações morfológicas, anatômicas, celulares, bioquímicas e moleculares (NOGUEIRA *et al*., 2005), a variar de acordo com a espécie e o estádio de desenvolvimento da planta, assim como com o tipo, a duração e a intensidade de estresse (LARCHER, 2000).

Dolferus (2014) e Hasanuzzanan *et al.* (2016) agregam que o estudo de cultivares em função da disponibilidade hídrica do solo permite avaliar a produtividade, uma vez que algumas plantas são capazes de se ajustar para tolerar condições estressantes, permitindo a manutenção do seu crescimento e desenvolvimento. Para Oliveira *et al*. (2010), além de incrementar a produtividade, o uso de cultivares de melhor aclimatação constitui-se em fator de baixo custo no sistema de produção e, consequentemente, de fácil adoção pelos produtores.

1.5.1. Efeitos do estresse hídrico no crescimento vegetal

As condições de estresse hídrico podem desencadear uma ampla variedade de respostas no vegetal, na qual as plantas são capazes de desencadear uma série de respostas protetivas como o controle da abertura e do fechamento dos estômatos, o

ajustamento osmótico, a redução da área foliar e a diminuição no crescimento celular (SILVA *et al.*, 2012; OSAKABE *et al.*, 2014; BLUM, 2016).

O déficit hídrico proporciona menor diâmetro do caule, indicando menor conteúdo de água no caule das plantas (ZWEIFEL *et al.*, 2005; WANG *et al.*, 2017). Em condições de seca o potencial hídrico do xilema se torna mais negativo, permitindo que ele perca água para os tecidos de armazenamento próximos a ele, contudo, nessas condições, a captação de água pela raiz ocorre de forma lenta, não sendo suficiente para substituir a água perdida, reduzindo assim o diâmetro do caule (INTRILIOLO; CASTEL, 2005).

Maiores valores de área foliar, diâmetro do caule e altura da parte aérea indicam alta demanda de fotoassimilados para manutenção do crescimento vegetativo, o que reduz a disponibilidade para a fase reprodutiva, contribuindo para menor produtividade nos tratamentos estressados (DOLFERUS *et al*., 2011).

A alta capacidade fotossintética relaciona-se com menores valores de área foliar, permite as plantas melhor adaptação à ambientes estressantes, uma vez que a retenção de recursos para mecanismos estruturais e de defesa da planta são mais importantes que o investimento em área foliar (MAO *et al*., 2014; DAI *et al.*, 2015).

Em condições de déficit hídrico, a manutenção da fotossíntese deve-se a maior capacidade fotoprotetora, ao mecanismo de dissipação do excesso de energia e prevenção a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) mais eficiente, que minimizaram os danos causados pelo estresse no seu aparato fotossintético (APEL; HIRT, 2004). Assim, reduções nos teores da clorofila, em função da ação das EROs, sob condições de estresse hídrico, resultam em um mecanismo protetor por reduzirem a absorção do excesso de luz e a pressão energética no fotossistema II (PARIDA; DAS, 2005), isto significa, que a maior quantidade de energia absorvida pela planta, nas condições citadas, poderá atuar na degradação dos pigmentos fotossintéticos resultando na interrupção de processos fisiológicos (PARIDA; DAS, 2005; KU *et al.*, 2013).

Para reduzir a perda excessiva de água pela evapotranspiração as plantas controlam o fechamento estomático, o que paralelamente ocasiona diminuição do suprimento de CO_2 para as folhas. Com isso, a taxa de fixação do CO_2 diminui com consequente reflexo negativo no crescimento e produção (MORAES *et al*., 2015). A baixa concentração de CO_2 na etapa bioquímica da fotossíntese reduz a oxidação de

NADPH na etapa fotoquímica, podendo, assim, aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio com danos ao aparato fotossintético e estresse oxidativo (PEREIRA *et al*., 2012; GHOBADI *et al*., 2013; CERQUEIRA *et al*., 2015).

O radical superóxido ($^{\bullet}O_2^-$), radical hidroxila ($^{\bullet}OH^-$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singleto ($^1O_2$) são exemplos das espécies reativas de oxigênio (EROs), produzidas em várias plantas em virtude do estresse oxidativo oriundo do déficit hídrico (JALEEL *et al*., 2007). A produção de EROs parece ser um evento dinâmico durante o desenvolvimento vegetal, bem como uma resposta da planta a estresses bióticos e abióticos (APEL e HIRT, 2004).

1.5.2. Mecanismo de defesa das plantas ao estresse hídrico

Para eliminar essas espécies reativas, as plantas apresentam sistemas enzimáticos antioxidativos que constituem uma importante defesa primária contra os radicais livres gerados sob condições de estresse, como a superóxido dismutase (SOD) que catalisa a dismutação do radical superóxido em H_2O_2 e O_2, a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) que podem quebrar o H_2O_2 em H_2O e O_2. Entretanto, esta regulação pode ser perdida se o estresse for mais severo, aumentando consideravelmente a produção de radicais livres que podem levar a uma cascata de eventos que inicia com a peroxidação de lipídeos, avançando para a degradação de membranas e morte celular (GREGGAINS *et al*., 2000).

O girassol (*Helianthus annuus* L.), apesar de ser considerada uma espécie tolerante à seca (GOMES *et al.*, 2006; CASTRO e FARIAS, 2005; LEITE *et al*., 2007; JARDINI *et al*., 2014) em períodos prolongados de déficit hídrico pode ter seu desempenho agronômico prejudicado. Adicionalmente, estudos sobre as respostas da cultura quando submetida a situações de estresse hídrico ainda são inconclusivos.

Alguns estudos têm avaliado a questão da disponibilidade hídrica no girassol, como o de Nezami *et al*. (2008) e Nobre *et al*. (2010) que verificaram que o estresse hídrico causou redução na altura de planta, fitomassa seca da parte aérea, diâmetro de capítulo e número de aquênios por capítulo. Semelhante, Barbosa *et al.* (2019), observaram aumento no crescimento das plantas e da atividade de enzimas antioxidativas (SOD, CAT, APX e GPX) que contribuíram para a redução de peroxidação lipídica da membrana (MDA) e os efeitos deletérios do estresse hídrico.

Diante da baixa disponibilidade hídrica encontrada em regiões semiáridas, a produção agrícola em larga escala durante todo o ano perpassa por limitações. No entanto, a análise quantitativa do crescimento (PEIXOTO *et al*., 2011), assim como a implantação de estratégias de uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis, por meio da escolha de genótipos ou cultivares mais tolerantes às condições edafoclimáticas locais, acrescido de um manejo adequado do solo podem atuar como ferramentas acessíveis e bastantes precisas à questão (CHAVARRIA *et al.*, 2015).

1.6 O estresse salino em plantas

O estresse salino representa um dos mais sérios fatores limitantes ao crescimento e à produção das culturas, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores (PEREIRA *et al.*, 2020). A incorporação de sais aos solos aumenta a condutividade elétrica (CE). Quando a CE do extrato de saturação do solo é maior ou igual a 4 dS m^{-1}, este é considerado salino (MUNNS e TESTER, 2008; RIBEIRO, 2010).

No mundo cerca de 33% dos solos sofrem degradação de moderada a alta, sendo uma das causas a salinização (FAO, 2015). E esse quantitativo tende a aumentar, pois estas áreas são influenciadas pelo aquecimento global, pelas mudanças no volume de precipitação e evaporação e pelas técnicas inadequadas de irrigação (KUMAR *et al*., 2013; SETIA *et al*., 2013).

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural, pela ação do intemperismo, ascensão do lençol freático, invasão do mar próximo as áreas costeiras e demanda atmosférica por água muito superior a precipitação pluvial; e pode ocorrer pela ação antrópica, pelo uso indiscriminado da irrigação, fertilizantes e outros insumos, que são as principais causas de salinização de solos (MOREIRA BARRADAS *et al*., 2015; DALIAKOPOULOS *et al.*, 2016).

Essa problemática é agravada em regiões áridas e semiáridas, onde é comum a presença de solos com altos níveis de sais, sendo o avanço do intemperismo químico de minerais primários (cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na^+, Ca^{2+}, e Mg^{2+}, ou ainda em menores quantidades K^+, NH_4^+, NO_3^+ e CO_3^{2-}), um dos principais fatores desta condição (FILHO *et al*., 2019).

Além disso, as baixas taxas pluviométricas, elevada evaporação da água e consequentemente, restrita lixiviação dos sais nessas regiões, contribuem para o acúmulo de sais na superfície do solo, sendo potencializado em áreas irrigadas onde não há previsão de drenagem, lâmina insuficiente de água de irrigação, uso de água salina ou ainda, a combinação destes fatores (RIBEIRO *et al*., 2016).

1.6.1. Efeitos do estresse salino no crescimento vegetal

Solos salinos geram uma série de adversidades ao crescimento das plantas, principalmente o estresse fisiológico, que é responsável por danos como a interrupção dos processos bioquímicos essenciais de respiração, fotossíntese e transpiração (CHE-OTHMAN *et al*., 2017). Prisco (1987) relata que o metabolismo germinativo também é influenciado, levando à inibição da mobilização das reservas e distúrbios nos sistemas de membranas do eixo embrionário.

A salinidade também reduz consideravelmente a ciclagem de nutrientes do solo (YAN *et al*., 2015). É uma das principais causas da redução na produtividade de diversas culturas (SILVA *et al*., 2018). Algumas plantas para sobrevivência em ambientes salinos, tendem a promover um encurtamento no ciclo de vida (FEIJÃO, 2017).

O acúmulo dos sais no solo promove redução no potencial hídrico do solo, induzindo a planta a gastar mais energia para continuar absorvendo água e/ou realizar o fechamento estomático, o que pode contribuir para redução da atividade fotossintética, além de um maior estresse térmico devido a redução da transpiração (MUNNS; TESTER, 2008). Os autores complementam que outro fator é a questão iônica, pois o acúmulo dos íons salinos no tecido vegetal, causam toxicidade e consequentemente morte dos tecidos vegetais.

Outra forma de resposta das plantas ao estresse salino é por meio do fechamento estomático, que por diminuir a transpiração mantém o status hídrico da planta (TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, o fechamento estomático induz ao menor crescimento da planta. Além do menor acúmulo de biomassa, a menor assimilação de CO_2 promove redução na velocidade do Ciclo de Calvin, acarretando desbalanceamento no fluxo de elétrons oriundos da fase fotoquímica da fotossíntese, podendo resultar na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), (SILVA *et al.*, 2010).

A redução do fluxo transpiratório também poderá limitar a absorção de nutrientes em consequência do comprometimento da principal via (apoplástica) de transporte de água e nutrientes de forma passiva na planta, dependendo exclusivamente do gradiente hidráulico gerado pelo processo de transpiração (STEUDLE e PETERSON, 1998).

Os íons salinos ao serem absorvidos pela planta vão se acumulando em toda a planta, a depender da espécie, podendo este acúmulo causar toxicidade aos tecidos. A intensidade da dependerá do nível de tolerância da planta, tempo de exposição e quais íons estão sendo acumulados (sódio, cloreto, boro, *etc*.), sendo que o principal sintoma relatado é a necrose do ápice e borda de folhas mais velhas (DIAS *et al*., 2016).

A redução da área foliar e do número de folhas é um importante mecanismo morfológico de convivência com o estresse salino (OLIVEIRA *et al*., 2011), uma vez que a redução na área foliar proporciona diminuição no fluxo transpiratório das plantas, ocasionando menor absorção de água e, consequentemente, menor carregamento dos íons salinos (TAIZ *et al*., 2017). No entanto, a redução no número de folhas também pode estar associada aos efeitos tóxicos dos íons Na^+ e Cl^- sobre o metabolismo celular (SILVA *et al*., 2011).

Além do efeito tóxico, a salinidade promove um desbalanço nutricional através da competição entre os íons de sódio com potássio e cálcio (GARCIA *et al.,* 2007). O potássio é inibido pelo sódio, devido a relação competitiva entre cátions monovalentes (KAWASAKI *et al*., 1983). Já o cálcio é deslocado pelo sódio do plasmalema das células radiculares (GARCIA *et al*., 2007).

1.6.2. Mecanismos de defesa das plantas ao estresse salino

Para atenuar os efeitos deletérios do estresse salino, as plantas desenvolveram estratégias fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de aclimatação e de adaptação (SILVA *et al*., 2018). Primeiramente, realizam ajustamento osmótico, para que as raízes possam continuar a absorção de água, esse ajustamento ocorre pelo acúmulo de prolina, carboidratos solúveis, entre outros compostos solúveis compatíveis no tecido vegetal (RODRÍGUEZ *et al*., 2010). Assim, as plantas conseguem absorver água, contudo, têm um gasto excessivo de energia.

Os danos oxidativos relativos aos efeitos indiretos da salinidade podem ser evitados em plantas tolerantes, em que apresentam maior capacidade em completar seus ciclos de vida sobre um substrato que contém altas concentrações de salinidade (PARIDA; DAS, 2005).

Assim, as plantas também desencandeiam mecanismos de defesa que utilizam aparato enzimático para eliminação das EROs, como a dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), e não enzimático, como o ácido ascórbico, glutationa, carotenoides, entre outros (MITTLER, 2002; CHOUDHURY *et al.*, 2016).

Diante do contexto, trabalhos voltados ao cultivo de girassol têm mostrado que a aplicação de adubação orgânica pode aliviar os efeitos adversos da salinidade, resultando em um melhor crescimento vegetal (W. Z. ZENG *et al*., 2014). Filho *et al.* (2015) ao avaliarem a adubação nitrogenada com interações de salinidade retrataram incrementos sobre o diâmetro e a fitomassa do capítulo com aquênios de girassol, retratando aclimatação aos efeitos deletérios impostos sob condição de estresse salino e impulsionando o sistema de defesa das plantas.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019.** 2019.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. 2020.

ADANI, F.; GENEVINI, P.; RICCA, R.; TAMBONE, F.; MONTONERI, E. Modification of soil humic matter after 4 year of compost application. **Waste Management**, v. 27, p. 319-324, 2007.

AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C.M.V.; BONILLA, S.H.; SACOMANO, J.B.; GIANNETTI, B.F. Urban solid waste plant treatment in Brazil: is there a net energy yield on the recovered materials? Resources, **Conservation and Recycling**, v. 73, p. 143-155. 2013. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.001.

ALEXANDRINO, T. D. *et al.* Exploração dos teores dos compostos fenólicos e outros nutrientes em diferentes genótipos de girassol (*Helianthus annuus L.*). Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais**: XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol: 28 e 29 de outubro de 2015 – Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

ALVES, D. H. C.; ISHII, F. M.; MORAIS, H. A. de S.; HOFFMANN, H.; SILVA, R. S. C. M. da; MARCHETO, M. Resíduos sólidos, mais que uma questão ambiental, uma questão social. **Engineering and Science**, v.1, p. 44-51, 2015.

ANASTASI, U.; SANTONOCETO, C.; GIUFFRE, A. M.; SORTINO, O.; ABBATE, V. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. **Field Crops Research**, v.119, p.145-153, 2010.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v.55, p.373-399, 2004.

ARAÚJO, C. A. de S.; RUIZ, H. A.; CAMBRAIA, J.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. Seleção varietal de Phaseolus vulgaris quanto à tolerância ao estresse salino com base em variáveis de crescimento. **Revista Ceres**, v. 57, p. 132-139, 2010.

ARAÚJO-LIMA, C. A.; PORTUGAL, L. P. S.; FERREIRA, E. G. Fish-macrophytes relationship in the Anavilhanas Archipelago, a black-water system in the central Amazon. **Journal of Fish Biology**, v. 29, p. 1-11, 1986.

BARBOSA, R. F.; BRITO, P. O. B. de; COSTA, F. R. da S.; FILHO, R. A. P.; JÚNIOR, 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.

BARBOSA, R.M. *et al.* Resíduo orgânico de Eichhornia crassipes como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia.** v. 12, n. 4, p. 242-247, 2017.

BERGAMASCO, A. M. D. D.; SÉKULA, C.; DANIEL, M. H. B.; QUEIROZ, F. B.; CABRAL, A. R. Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 19, n. 4, p. 479-86, 2011.

BEZERRA, F. T. C.; DUTRA, A. S.; BEZERRA, M. A. F.; FILHO, A. F. de O.; BARROS, G. de L. Comportamento vegetativo e produtividade de girassol em função do arranjo espacial das plantas. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.335-343, 2014.

BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil, **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 1, p. 7-19, 2008.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant; Cell e environment,** v. 40, p. 4-16, 2016.

BLUM A.; JOHNSON J. W.; RAMSEUR E. L.; TOLLNER E. W. The effect of a drying top soil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. Journal of Experimental Botany 42, 1225-1231, 1991.

BORNETTE, G.; PUIJALON, S. Macrophytes: ecology of aquatic plants. **In:** Encyclopedia of Life Sciences (ELS). Chichester: John Wiley & Sons, p. 1-9, 2009.

BRAGA, C. de L; FERNANDES, D. M; SIRTOLI L. F.; LUDWIG, F. Análise de crescimento de girassol ornamental de vaso e aplicação de nitrogênio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 2, p. 52-59, 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agenda de inovação para cadeia produtiva do biodiesel.** CSOB/MAPA: Brasília, v. 1, 40p., 2019.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Versão Preliminar. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2012. Disponível em: <Disponível em: http://www.mma.gov.br >. Acesso em: 9 out. 2016.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000.

BURK, E.; BROWN, S. J.; CHRISTIDIS, N. modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the hadley center climate model. **Journal Hydrometeorology**, v. 7, p. 1113-1125, 2006.

CASTRO, C.; LEITE, R. M. V. B. C. Main aspects of sunflower production in Brazil. **Oilseeds & fats Crops and Lipids**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2018.

CASTRO, C. de; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. de C.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B. **A cultura do girassol.** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 36 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 13).

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. **In:** LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, p. 163-218, 2005.

CAVALCANTE A. C. R.; CAVALLINI M. C.; LIMA N. R. C. B. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. **Embrapa Caprinos e Ovinos**, 2009.

CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de défice hídrico

e reidratação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, p. 211-217, 2015. CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1387-1393, 2015.

CHE-OTHMAN, M. H.; MILLAR, A. H.; TAYLOR, N. L. Connecting salt stress signalling pathways with salinity-induced changes in mitochondrial metabolic processes in C3 plants. **Plant Cell Environ**, v. 40, p. 2875-2905, 2017.

CHOUDHURY, F. K.; RIVERO, R. M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, v. 90, n. 5, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** v. 7, Safra 2019/20 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-104, Janeiro, 2020. Disponível em: < http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 19 mar. 2019.

CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, v.11, p. 1-14, 2011.

CRONK, J. K.; FENNESSY, M. S. Wetlands plants: biology and ecology. **CRC Press**, Boca Raton. 462p., 2001.

DAI, J.; LI, W.; TANG, W.; ZHANG, D.; LI, Z.; LU, H.; ENEJI, A.E.; DONG, H. Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in relation to yield stability of cotton under intensive management. **Field Crops Research.** v. 180, p. 207‑215, 2015.

DALIAKOPOULOS, I.N., TSANIS, I.K., KOUTROULIS, A., KOURGIALAS, N.N., VAROUCHAKIS, A.E., KARATZAS, G.P., RITSEMA, C.J. The threat of soil salinity: a European scale review. **Science of The Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016.

DAVIS, C. B.; Van der VALK, A. G. The decomposition of standing and fallen litter of Typha glauca and Scirpus fluviatilis. **Canadian Journal of Botany**, v. 56, n. 6, p. 662-675, 1978.

DEMARTY, M.; PRAIR, Y. T. In situ dissolved organic carbon (DOC) release by submerged macrophyte–epiphyte communities in southern Quebec lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 66, n. 9, p. 1522-1531, 2009.

DIAS, N. D. S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. **In:** GHEY, H. R. *et al.* (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, p. 504, 2016.

DOLFERUS, R.; JI X.; RICHARDS, A.R. Abiotic stress and control of grain number in cereals. **Plant Science**. v. 181, p. 331-341, 2011.

DOLFERUS, R. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. **Plant Science,** v. 229, p. 247-261, 2014.

DUARTE, J. M. de L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. de A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. de. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (Helliantus annuus L.), sob suspensão hídrica. Revista Brasileira de **Agricultura Irrigada**, v. 6, p. 166-175, 2012.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa em Soja.** Londrina, Pr. Girassol. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol>. Acesso em: 2 abr. 2019.

ESTEVES; F. A.; BOZELLI, R. L. Aquatic macrophytes drive sediment stoichiometry and the suspended particulate organic carbon composition of a tropical coastal lagoon. **Acta Limnologica Brasiliense**, v. 22, n. 2, p. 208-217, 2010.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ed. Interciência/FINEP, Rio de Janeiro. 1998.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 1, p. 273-298, 1986.

FAO. **Status of the World's Soil Resources (SWSR)** – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas.** Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005.

FEIJÃO, A. R. **Influência de diferentes fontes de nitrogênio na tolerância de plantas de girassol ao estresse salino.** 116 f. Tese (Doutorado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERRARI, R. A.; SOUZA, W. L. Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 106-111, 2009.

FILHO, D. H. G.; SANTOS, J. B. dos; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; JUNIOR, J. A. S. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 514-527, 2015.

FREITAS, C. A. S. de; SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R. de; MOTA, F. S. Análise energética do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado para produção de biodiesel. **Revista Caatinga**, v. 26, p. 62-72, 2013.

GARCIA, G. O. *et al.* Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.

GARDNER, G. **Municipal solid waste growing.** 2012. Disponível em: <http://www.worldwatch.org/global-municipal-solid-waste-continues-grow>. Acesso em: 24 dez. 2019.

GENTIL, R. de M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. de. Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso. **Geoambiente On-line**, p. 127-142, 2012.

GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; GHOBADI, M.; MOHAMMADI, G.; JALALIHONARMAND, S. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars in response to drought stress. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 29-38, 2013. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.009

GOETGHEBEUR, P. Cyperaceae. Pp. 141-190. **In:** K. Kubitzki (ed.). The families and genera of vascular plants. Springer, Berlin. 1998.

GOMES, D. P.; BRINGEL, J. M. M.; MORAES, M. F. H.; GOMES, J. J. A.; LEITE, R. M. V. B. de C. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de girassol produzidas na região de Timon, Maranhã. **Summa Phytopathologica**, v. 32, p. 291-292, 2006.

GOMES, J. A.; KAWAI, H.; JAHNEL, M. C. Estudo piloto sobre obtenção de composto orgânico a partir de aguapé. **Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 12-17, 1987.

GREGGAINS, V.; FINCH-SAVAGE, W.E.; QUICK, W.P.; ATHERTON, N.M. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, v.148, p.267-276, 2000.

GRILO, E. C. *et al.* Alpha-tocopherol and gammatocopherol concentration in vegetable oils. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 2, p. 379-385, 2014.

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, p. 217-223, 2014.

GUIMARÃES, L. T. **Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ.** Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COOPE), 2000. 172 p. ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência: INEP. 1998.

HARRIS, T. M. *et al.* Life cycle assessment of sunflower cultivation on abandoned mine land for biodiesel production. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 112, n. 1, p. 182-195, 2016.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; RAHMAN, A.; MAHMUD, J.A.; HOSSAIN, M.S.; FUJITA, M. Soybean production and environmental stresses. In: **Environmental**

Stresses in Soybean Production. Cap. 4, 2016.

HEGEL, C. G. Z.; MELO, E. F. R. Q. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água dos Arroios da RPPN Maragato. **Rev. Agro. Amb**., v.9, n.3, p. 673-693, jul./set. 2016.

HERNANDÉZ, T.; GARCIA, E.; GARCÍA, C. A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: A sole addition of composta at a high rate. A five-year field experimente. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 61-71, 2015.

HIRATA, R.T. **Relação da distribuição espacial de Egeria densa com as variáveis do ambiente, na Represa Guarapiranga - SP.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

HUTCHINSON, G. E. A treative on limnology: limnological botany. V. 3. **John Wiley & Sons**, Nova York. 1975.

HUERTA, B.; MARTI, E.; GROS, M.; LÓPEZ, P.; POMPÊO, M.; ARMENGOL, J.; BARCELÓ, D.; BALCÁZAR, J. L.; RODRÍGUEZ-MOZAZ, S.; MARCÉ R. Exploring the links between antibiotic occurrence, antibiotic resistance, and bacterial communities in water supply reservoirs. **Science of the Total Environment**, v. 456-457, p. 161-170, 2013.

INTRILIOLO, D.S.; CASTEL, J.R. Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees. **The Physiology.** 26: 303-311; 2005.

IOCCA, A. F. S. *et al.* Avaliação do teor e produtividade de óleo em genótipos de girassol. Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais**: XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol: 28 e 29 de outubro de 2015 – Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010) **Pesquisa nacional por amostra de domicílios (PNAD).** Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em: 10 dez. 2019.

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, p. 1-6, 2009.

JARDINI, D. C.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; WEBER, O. L. S.; BORBA FILHO, A.B.; FERNANDES, D. A. Absorção de nutrientes em genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, p.434-442, 2014.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, v. 75, p. 75-85, 1983.

KEDDY, P.A. Plant zonation on lakeshores in Nova Scotia: a test of the resource specialization hypothesis. **Journal of Ecology**. v. 72, p. 797-808, 1984.

KINUPP, A. F. **Plantas alimentícias não convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS.** Tese (Doutorado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre RS, 562 p., 2007.

KU, Y.S.; AU-YEUNG, W.K.; YUNG, Y.L.; LI, M.W.; WEN, C.Q.; LIU, X.; LAM, H.M. Drought stress and tolerance in soybean. **Licensee in Tech**. 2013. http://dx.doi.org/10.5772/52945.

KUEHN, K. A.; SUBERKROPP, K. Diel fluctuations in microbial activity associated with standing-dead litter of the freshwater emergent macrophyte Juncus effusus L. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 171-182, 1998.

KUMAR, K.; KUMAR, M.; KIM, S.R.; RYU, H.; CHO, Y.G. Insights into genomics of salt stress response in rice. **Rice**, v. 6, p. 1-15, 2013. https://doi.org/10.1186/1939-8433-6-27

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LEITE, R. M. V. B. de C.; CASTRO, C. de; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A. de; CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, A. C. B. de. **Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima.** Londrina: Embrapa Soja, 2007. 4 p. (Embrapa Soja. Comunicado técnico, 78).

LOBO, T. F.; ALBANO, L. B.; CORDEIRO, D. R.; FILHO, H. G. Ação do lodo de esgoto e do nitrogênio no rendimento e teor de óleo do girassol. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais...** XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol, Londrina: Embrapa Soja, 2015.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BULL, L. T.; KUMMER, A. C. B. Efeitos do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 504-509, 2013.

LÓPEZ-DOVAL, J. C.; MEIRELLES, S. T.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. Ecological and toxicological responses in a multistressor scenario: Are monitoring programs showing the stressors or just showing stress? A case study in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 540, p. 466–476, 2016.

MARINHO, C. C.; MEIRELLES-PEREIRA, F.; GRIPP; A. R.; GUIMARÃES; C. C.; RODRIGUES, M. E. F. **Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil.** 214 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MATIAS L. Q.; AMADO E. R.; NUNES E. P. Macrófitas aquáticas da lagoa Jijoca de Jericoacoara, Ceará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 17(4): 623-631. 2003.

MAO, L.; ZHANG, L.; ZHAO, X.; LIU, S.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, S.; SPIERTZ, H.; LI, Z. Crop growth: light utilization and yield of relay intercropped cotton as affected by plant density and a plant growth regulator. **Field Crops Research**. 155: 67- 76; 2014.

MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S. C. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using Eichhornia crassipes and evaluation of the generated biomass composting. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 466-473, 2009.

MELO, G. M. de; BARBOSA, M. R.; DIAS, A. L. de F.; WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Pré-condicionamento *in vitro* de plantas de cana-de-açúcar (*Sccharum spp*.) para tolerância ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 27-33, 2014.

MESCHIATTI, A. J.; ARCIFA, M. S.; FENERICH-VERANI, N. Fish communities associated with macrophytes in Brazilian floodplain lakes. **Environmental Biology of Fish**, v. 58, p. 133-143, 2000.

MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v.15, p.873-885, 1976.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise**, v. 7, n. 9, p. 927-949, 2002.

MORAES, L. A. C.; MERTZ-HENNING, L. M.; CARVALHO, C. G. P. de; MOREIRA, A. Parâmetros fisiológicos e de crescimento em cultivares de girassol submetidas ao estresse hídrico em condições controladas. Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais**: XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol: 28 e 29 de outubro de 2015 – Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

MORAES, M. T. de; SILVA, V. R. das; ARNUTI, F. Resíduos líquidos de efluentes de carnes na produtividade do girassol. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p. 843-853, 2012.

MOREIRA BARRADAS, J. M. *et al.* Effect of Fertigation on Soil Salinization and Aggregate Stability. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 4, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000806.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O.; HANSEN, M. A. F. Estimativa do tempo de produção de chorume em aterro controlado por meio de medidas de resistividade elétrica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.41, p. 549-557, 2011.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

NEZAMI, A.; KHAZAEI, H. R.; BOROUMAND REZAZADEH, Z.; HOSSEINI, A. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (Helianthus annuus) in controlled conditions. **Desert**, v. 1, p. 99-104, 2008.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes

domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.7, p.747-754, 2010.

NEIFF, J. J. Aspects of primary productivity in the lower Paraná and Paraguay riverine system. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 3, p. 77-113, 1990.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.75-87, 2005.

OLIVEIRA, L. de S. **Decomposição de resíduos orgânicos e liberação de nutrientes sobre o solo**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrarias, Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2017.

OLIVEIRA, R. L. *et al.* Commercial cuts and chemical and sensory attributes of meat from crossbred Boer goats fed sunflower cake-based diets. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 86, n. 5, p. 557- 562, 2015.

OLIVEIRA A. R.; BRAGA M. B.; WALKER A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições Semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física 8**, 525-541, 2015a.

OLIVEIRA, M. F. de; CASTIGLIONI, V. B. R.; CARVALHO, C. G. P. de. Melhoramento do girassol. **In:** LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 269-297.

OLIVEIRA, R. A. *et al*. Redução da demanda bioquímica de oxigênio de águas residuárias da suinocultura com o emprego da macrófita aquática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 4, n. 1, p. 81- 86, 2000.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L.S.P. Response of plants to water stress. **Plant Science**, 2014. htpp://doi: 10.3389/fpls.2014.00086.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v.13, p. 227-242, 2011.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safet.** v. 60, p. 324-349, 2005.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceito e prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13; p. 51-76, 2011.

PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S.; SILVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, D.; SANTOS, J. M. S. Índices fisiológicos de girassol em diferentes épocas de semeadura e densidade de plantas no recôncavo da Bahia. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v. 25, n. 2, p. 94-108, 2013.

PEREIRA, E. R. de L.; MEDEIROS, M. B. de; SUASSUNA, J. F.; MORAIS, V. M. M.; FERNANDES, H. F.; LIMA, A. S. de; COSTA, N. S. da; FERNANDES, P. D. Resposta fisiológica do algodão colorido em estresse salino. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade,** v. 7, n. 16, p. 653-664, 2020.

PEREIRA, T. de A.; SOUTO, L. S.; SÁ, F. V. da S.; PAIVA, E. P. de; SOUZA, D. L. de; SILVA, V. N. da; SOUZA, F. M. de. Esterco ovino como fonte orgânica alternative para o cultivo do girassol no semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, p.59-64, 2014.

PEREIRA, J. W. de L.; MELO FILHO, P. de A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 766- 773, 2012.

PETR, T. (Rev.). **Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters.** Rome: FAO, 2000. 185 p. (FAO Fisheries Technical Paper, n. 396). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/006/x7580e/X7580E00.htm#TOC>. Acesso em: 10 jan. 2019.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros** / Marcelo Pompêo. -- São Paulo; Instituto de Biociências da USP, 2017.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 406-424, 2008.

POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton:** aspectos ecológicos e metodológicos. São Carlos: RIMA, 2003.

POMPÊO, M. As macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais: aspectos ecológicos e propostas de monitoramento. **In:** POMPÊO, M. (Org.). Perspectivas da limnologia no Brasil. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999.

PRISCO, J. T. **Contribuição ao estudo da fisiologia do estresse salino durante a germinação e estabelecimento da plântula de uma glicófita [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]**. 65 f. Tese Doutorado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 1987.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, p. 9-15, 2016.

RIBEIRO, M.R., Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura:** estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCTSal. 2010.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 73-80, 2007.

RODRÍGUEZ, E. S. *et al*. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. **Plant Science**, v. 178, n. 1, p. 30-40, 2010.

SAMPAIO, E. V. de S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **R. Bras. Ci. Solo**, São Paulo, v.31, p. 995-1002. 2007. SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. F. M.. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, p. 203-212, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 4, p. 995-1002, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. Aproveitamento da macrófita aquática Egeria densa como adubo orgânico. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2005.

SANTOS, R. O. dos; JARDIM, C. C. S.; OLIVEIRA, A. C. de; ALENCAR, R. G de. Qualidade fisiológica de aquênios das cultivares de girassol helio 250, helio 251 e tera 866 ho. Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais**: XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol: 28 e 29 de outubro de 2015 – Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. **Os ecossistemas costeiros e marinhos do extremo sul do Brasil.** Editora ecoscientia, Rio Grande do Sul, 1998.

SCREMIN-DIAS, E. A plasticidade fenotípica das macrófitas aquáticas em resposta à dinâmica ambiental. **In:** Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Tópicos especiais em botânica 1. Embrapa, Brasília. p. 84-90. 2000.

SCREMIN-DIAS, E. Tropical aquatic plants: morphoanatomical adaptations. **In:** Del-Claro, K. & Rico-Gray (orgs.). Encyclopedia of tropical biology and conservation management. Vol 1. UNESCO/EOLSS, Paris. p. 84-132. 2009.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente do Ceará. **Plano estadual de resíduos sólidos – PERS:** estudos de prospecção e escolha de cenários de referência. 2015. Disponível em: <http://www.sema.ce.gov.br/attachments/article/44259/CENARIOS-min.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2017.

SETIA, R.; GOTTSCHALK, P.; SMITH, P.; MARSCHNER, P.; BALDOCK, J.; SETIA, D.; SMITH, J. Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 267-272, 2013.

SILVA, J. R. I; JARDIM, A. L. DA R. F.; NETO, J. B.; LEITE, M. L. DE M. V.; TEIXEIRA, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.3, p.127-139, sep-dec., 2018.

SILVA, V. F.; BRITO, K. S. A. de; Nascimento, E. C.; Ferreira, A. C.; Maracajá, P. B. Resíduo agroindustrial na formação de mudas ornamentais irrigadas com água residuária. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p. 258-266, 2013.

SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de; BARBOSA, R. R. do N.; COSTA, R. C. L. da; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Resposta fisiológica de planta de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v.9, p. 113-120, 2012.

SILVA, E. N. *et al*. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SILVA, D. S.; SANTINO, M. B. da C.; EUGENIO, E. E. Decomposição e dinâmica de liberação de nitrogênio e fósforo de frações vegetais de *Salvinia auriculata* Aubl. em um reservatório da Amazônia legal. Marques Acta Scientiarum. **Biological Sciences**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 21-29, 2011a.

SILVA, J. V. H. da; BORGES, A. K. P.; MORAIS, P. B. de; PICANÇO, A. P. Compostagem das macrófitas aquáticas: *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, Tocantins. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n.2, p.074-086, 2011b.

SILVA, E. N. *et al*. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of Jatropha curcas plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 10, p. 1130-1137, 2010.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. **In:** SANTOS, G. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Gênesis, 2008.

SILVA, M. de O.; FARIA, M. A. de; MORAIS, A. R.; ANDRADE, G. P.; LIMA, E. M. de C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

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, XXVIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem e I Simpósio Latino Americano de Salinidade, Fortaleza, 2019.

SOUZA, J. N. de. **Viabilidade no uso de resíduos domésticos na vermicompostagem.** Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal do Ceará, bacharelado em engenharia sanitária e ambiental, Campus Maracanaú, 2017.

SOUZA, A. de; OLIVEIRA, M. F. de; CASTIGLIONI, V. B. R. O boro na cultura do girassol. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 25, p. 27-34, 2004.

STASIAK, D.; DALCHIAVON, F. C.; HIOLANDA, R.; CARVALHO, C. G. P. de. Influência da densidade de semeadura nas características agronômicas de cultivares de girassol. Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. **Anais**: XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol: IX Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol: 28 e 29 de outubro de 2015 – Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

STEUDLE, E.; PETERSON, C. A. How does water get through roots? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 775-788, 1998.

STROJAKI, T. V.; SILVA, V. R. da; SOMAVILLA, A.; ROS, C. O. da; MORAES, M. T. de. Atributos químicos do solo e produtividade de girasol e milho em função da aplicação de compost de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p. 278-285, 2013.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. da S. Produção de arquênio do girasol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 371-376, 2011.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Artmed, Porto Alegre, 2012. 954p.

TANAKA, R. H. Controle de plantas aquáticas no reservatório de Americana. In: REUNIÃO DO GT AGROTÓXICOS, 4, Campinas. **Anais...** Campinas: Conama, 2009.

TAVECHIO, W. L. G.; THOMAZ, S. M. The effects of light on the growth and photosynthesis os Egeria densa Planchon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 203-209, 2003.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. **In:** ESTEVES, F. A. (Coord.). Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. p. 461-521.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. **In:** ESTEVES, F. A. (Coord.). Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 461-521.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

TURATTI, J. M.; GOMES, R. A. R.; ATHIÉ, I. **Lipídeos:** aspectos funcionais e novas tendências. Campinas: ITAL, 2002. 78p.

UNGARO, M. R. G. Potencial da cultura do girassol como fonte de matéria prime para o programa nacional de produção e uso de biodiesel. In: CAMARA, G.M.; HEIFFIG, L. S. **Agronegócio de plantas oleaginosas**: matérias-primas para o biodiesel. Piracicaba; ESALQ, 2006. p. 57-80.

VERAS, L. M. **Seleção de genótipos de girassol para produção de óleo no Baixo Parnaíba maranhense.** Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, CHAPADINHA, 2017.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 1, 243 p., 1996a.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: lagoas de estabilização. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 3, 134 p., 1996b.

WANG, X.; MENG, Z.; CHANG, X.; DENG, Z.; LI, Y.; LV, M. Determination of a suitable indicator of tomato water content based on stem diameter variation. **Scientia Horticulturae**, v. 215, p. 142-148, 2017.

WEBER, J.; KOCOWICZ, A.; BEKIER, J.; JAMROZ, E.; TYSZKA, R.; DEBICKA, M.; PARYLAK, D.; KORDAS, L. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. **European Journal of Agronomy**, v.54, p. 54-60, 2014.

WETZEL, R. G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 24, n. 1, p. 6-24, 1990.

WOLFF, G., ASSIS, L.R., PEREIRA, G.C., CARVALHO, J.G. e CASTRO, E.M. Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p.133-137, 2009.

W. Z. ZENG *et al.* Impacts of Salinity and Nitrogen on the Photosynthetic Rate and Growth of Sunflowers (*Helianthus annuus L.*). **Pedosphere,** v. 24, n. 5, p. 635–644, 2014.

XU, Y.; ZHAN, C.; HUANG, B. Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. **International Journal of Proteomics**, 2011, 11p.

YAN, N. *et al.* Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.11.003.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 24, n. 2, 2019.

ZEILHOFER, P.; SCHESSL, M. **Relationship between vegetation and environmental conditions in the northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil.** Journal of Biogeography, v. 27, p.159-168, 2000.

ZWEIFEL, R.; ZIMMERMANN, L.; NEWBERY, D.M.; Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. **Tree Phtsiology**. v. 25. p. 147-156, 2005.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar os efeitos da utilização de diferentes espécies de macrófitas como fertilizante sobre a fisiologia e a bioquímica de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) crescendo sob condições controle, de estresse hídrico e de estresse salino.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar a possibilidade da utilização de macrófitas na fertilização de plantas de girassol;

Em casa de vegetação, sob condições controle, de estresse hídrico e de estresse salino e com diferentes espécies de macrófitas no substrato:

- Avaliar o crescimento de plantas de girassol, através de variáveis biométricas (número de folhas, altura, diâmetro do coleto) e de produção de matéria fresca e seca;
- Estudar as atividades das enzimas do sistema enzimático antioxidativo (Catalase, peroxidase do ascorbato, peroxidase do guaiacol e dismutase do superóxido) espectrofotometricamente.

4. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação do laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *Campus* Maracanaú, Ceará, Brasil. As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar BRS 323, utilizadas nos experimentos foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercados, Escritório Dourados, MS.

A presente dissertação foi dividida em 3 experimentos, o que resultou na produção de três artigos científicos:

1- **"Macrófitas como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol"**. Publicado na Revista Brasileira de Agroecologia.

2- **"Suplementação com *Salvinia auriculata* reduz os efeitos deletérios do estresse hídrico em plântulas de girassol".** Submetido à revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável e está em processo de avaliação.

3- **"Produção de matéria seca e atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com *Salvinia auriculata*".** Submetido à Revista Ciência Agronômica e está aguardando designação do editor.

Todos os artigos supracitados estão dispostos na presente dissertação e encontram-se formatados de acordo com as normas das revistas aos quais foram submetidos e/ou publicados.

As descrições detalhadas de cada um dos experimentos encontram-se independentemente descritas nas seções "Material e Métodos" de cada artigo.

Capítulo I

(Artigo publicado na Revista Brasileira de Agroecologia - RBA)

MACRÓFITAS COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL

Macrophytes as source of nutrients on initial plant growth of sunflower plants

Abstract: The present study assessed the initial plant growth of sunflower seedlings under different concentrations and species of macrophytes, verifying the viability of their use as source of nutrients. Biometric and vigour variables were assessed through measurements of stem diameter, height of aerial part, number of leaves, relative chlorophyll contents and production of dry matter from roots and shoots. The experimental design was the entirely randomized one, in a factoring arrangement with 3 fertilization concentrations (40, 80 and 120 kg N ha^{-1}) x 4 (*Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* and mixed macrophyte compound), and the harvests were carried out at 14 and 21 Days After Sowing (DAS), containing eight repetitions with three plants each. The averages obtained at 14 and 21 DAS were compared by Tukey's test ($P \leq 0.05$) through the statistical program Sisvar 5.6. It was found that the use of macrophytes promoted increases in the variables analyzed, however, the best results were provided by the treatment *Salvinia sp.* at 120 kg N ha^{-1}.

Key words: Plant biomass. *Helianthus annuus* L.. Plant growth analysis.

Resumo: O presente trabalho analisou o crescimento inicial de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações e espécies de macrófitas verificando a viabilidade da utilização como fonte de nutrientes. Avaliaram-se variáveis biométricas e de vigor através das medidas de diâmetro do coleto, altura da parte aérea, número de folhas, teores relativos de clorofila e produção de matérias secas das raízes e partes aéreas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 4 diferentes materiais para composição dos substratos: *Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* e composto misto de macrófitas, e as seguintes concentrações de Nitrogênio em macrófitas nos substratos: 40, 80 e 120 kg N ha^{-1}. Foram utilizados como tratamentos controle: vasos contendo somente areia e vasos com areia e húmus de minhoca comercial na proporção de 80 kg N ha^{-1}. As coletas foram realizadas aos 14 e 21 Dias Após a Semeadura (DAS), contendo oito repetições com três plantas cada. As médias obtidas aos 14 e 21 DAS foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) através do programa estatístico Sisvar 5.6. Verificou-se que a utilização de macrófitas promoveu incrementos nas variáveis analisadas, contudo, os melhores resultados foram proporcionados pelo tratamento *Salvinia sp.* a 120 Kg N ha^{-1}.

Palavras – chave: Biomassa vegetal. *Helianthus annuus* L.. Análise de crescimento de plantas.

INTRODUCTION

Most Brazilian water bodies have eutrophication as a major water quality problem (von SPERLING, 2005). Siqueira and Oliveira Filho (2005) attribute the excess of fertilizers and the dumping of domestic and industrial sewage without prior treatment as the main activities responsible for this stand.

The spread of macrophytes is intensified by eutrophication. These plant species act as filters, retaining particles and providing substantial amounts of contact area for adhesion of microorganisms (RAMOS et al., 2009). They can remove nutrients (phosphorus and nitrogen) and eliminate pathogens and inorganic substances (TANAKA et al., 2015). Macrophytes have a potential bioindicator role in water bodies, being expressed and influenced by limnological characteristics of different environments (PEREIRA et al., 2012).

However, disorder occurs when there is an excessive growth of biomass or area of colonization, bringing harness to the multiple uses of the reservoirs and biota, as in water quality due to increased consumption of dissolved oxygen during the decomposition process (POMPÊU, 2017). Thus, removal of excess macrophytes from water bodies is recommended. Another relevant issue is the adequate final disposal of biomass, which, according to Pompêu (2017), the option most used in Brazil is landfill disposal. The authorconsiders it is more interesting to use the biomass removed, avoiding losses of energy and nutrients accumulated in the plant mass (2017).

Macrophytes, as have been analyzed in studies as nutritional alternatives to plant cultivation, and its uses in agriculture have been widely adopted in their final provisions with successful results (SAMPAIO et al., 2007; POMPÊO, 2008; MEES et al., 2009; and BARBOSA et al., 2017). However, there is still a reduced using of plant biomass produced in water bodies where plants need to be removed periodically.

Nevertheless, it is necessary to perform physical-chemical analyses of the residues to assess their effects on the soil and plant development (FERREIRA et al., 2003). The presence of nitrogen in macrophytes justifies its use in plant cultivation, since it is a nutrient required in high proportions by the cropsand develops primary metabolic functions, being a constituent of the chlorophyll molecule, nucleic acids, amino acids, and proteins (TAIZ and ZEIGER, 2006).

Sunflower culture (*Helianthus annuus* L.) stands out in Brazil among the plant species with the greatest potential for biofuel production (FREITAS et al., 2012; and HARRIS et al., 2016), showing constant progress due to its peculiar characteristics of rusticity, drought resistance, oil content and quality (DANTAS et al., 2015).

Thus, it has been sought to establish sunflower cultivation practices that allow its exploitation under rational and economic techniques (DANTAS et al., 2015). Given that the high cost of chemical fertilizers stimulates the search for less costly alternatives, such as the using of organic fertilizer from animal and plant residues (PIRES et al., 2008), the using of macrophytes may provide a nutritional alternative to agricultural crops.

That being said, the present study aimed to analyze the initial growth of sunflower seedlings (*Helianthus annus* L.) submitted to different species (*Cyperus auriculatus, Salvinia auriculata, Thalia geniculata* and a mixed macrophyte compound) and macrophyte concentrations in green house conditions, verifying the feasibility of using macrophytes as source of nutrients, using simple and easily reproducible techniques.

MATERIAL AND METHODS

Collection and characterization of macrophytes

The macrophytes used in the experiment were obtained from Maracanaú lagoon - Ceará - Brazil, whose coordinates are 3° 52' 45.912" S 38° 37' 46.740" W, through manual and random sampling on the banks of the lagoon. There were two collections: the first on December 6, 2018 and the second on October 1, 2019 (both during the dry period). The collection period is important for understanding the seasonality of the macrophyte species that coexist in the aquatic ecosystem (NEIFF, 1990).

After the collections, the material was washed with water and placed to dry in an oven at 80ºC until a constant mass was obtained (approximately 48 hours). Afterwards, the material was crushed, and the samples were sent to the Soil/Water Laboratory of the Federal University of Ceará for macro and micronutrient analysis (Table 1). The results were used in the calculations for the substrates formulations for sunflower plant cultivation.

Experimental conditions, plant material and treatments

The experiment was conducted in a greenhouse located at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará - IFCE, in the city of Maracanaú, Ceará, Brazil, in June 2019.

The sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.), BRS 323 cultivar, were given by EMBRAPA, Produtos e Mercado - Escritório Dourados, MS, Brazil. The seeds were sown in 5 L plastic pots filled with fine granulometry sand-based substrates (NBR 6502) and the different macrophytes.

Three species of macrophytes (*Cyperus auriculatus, Salvinia auriculata, Thalia geniculata*) and a mixed compound with 50% of *Cyperus auriculatus* species, 25% of *Salvinia auriculata* species and 25% of *Thalia geniculata* species were used. The proportion of the mixed compound was based on the relative abundance present in the lagoon. The macrophyte species were identified by herbarium Prisco Bezerra of the Federal University of Ceará. The quantities of organic macrophyte substrates applied in each treatment were defined based on the total nitrogen (N-total) content of the sample after physical-chemical analyses performed in the Soil/Water Laboratory, UFC/FUNCEME (Table 1), and applied proportionally in the vessels corresponding to one hectar under field conditions. The values of macrophyte substrates used were respectively: 40; 80; and 120 kg N ha^{-1}. During the experiment, it was performed a daily watering at 70% of the field capacity of the substrate to replenish the evapotranspired water.

The experimental design was entirely randomized blocs with four different materials for substrate composition: *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* and mixed macrophyte compounds, and the following concentrations of Nitrogen in macrophytes in the substrates: 40, 80 and 120 kg N ha^{-1}. The following control treatments were used: vessels containing only sand and vessels with commercial earthworm sand and humus at a proportion of 80 kg N ha^{-1}.

Data were collected at 14 and 21 days after sowing (DAS), comprising eight repetitions with three plants each. The means were compared by Tukey's test ($P \leq 0.05$) through the statistical program Sisvar 5.6 (Ferreira, 2018). Graphs were prepared using Sigma Plot 11.0 program.

Growth assessments were performed, and collector diameter (DC) values were determined by means of a digital pachymeter (0.01 mm) 150 mm - Stainless Steel Lee Tools Mod. 684132 with measurement performed at the insertion of the epicothyl-hypocothylium axis; height of the aerial part (APA) with a ruler graduated in centimeters, measuring from the soil surface to the last node and, the number of leaves (NC) by manual counting. Relative chlorophyll contents were estimated on the first fully expanded leaf from the apex using Chlorophyll Meter SPAD-502 equipment and data were expressed according to the manufacturer's recommendation (in SPAD index).

Harvest of plant material

The plant material was harvested only at 21 DAS, and the plants were separated into roots, stems, and leaves (aerial part) for determination of the Dry Mass of Roots (MSR) and the Shoot Dry Mass (MSPA). The plant material was put in an oven with forced air circulation at 60 ºC until constant mass was obtained and then weighed in an analytical balance.

RESULTS AND DISCUSSION

The chemical attributes of the substrates used in the experiment are shown in Table 1, where it is observed that *Thalia geniculata* species had the highest amount of NPK, and *Salvinia auriculata* species had the highest amount of micronutrients.

Table 1. Physical and chemical characterization of macrophytes used in the experiment

Samples	Chemical characterization									
	$g.Kg^{-1}$						$mg.Kg^{-1}$			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
Cyperus auriculatus	6.4	0.9	9.1	0.5	0.7	4.9	256.4	0.2	6.8	104.8
Salvinia auriculata	7.6	1.3	4.8	0.8	1.5	4	6019.5	23.4	29	341.9
Thalia geniculata	10.4	1.8	19.7	0.4	1.5	12.5	1936.5	3.7	23.3	144.7
Mixed Compound of Macrophytes	9.2	1.4	10.1	0.3	1.6	7.4	3329.4	6.8	20.7	206.5

Figure 1 shows through visual analysis that at 21 DAS, the using of organic macrophyte residues (ROM) as source of N-total in the fertilization of sunflower plants caused increases in growth. The treatment containing *Salvinia auriculata* at 120 kg N ha^{-1} was the one that promoted highest increments in stem diameter, height of aerial part, number of leaves, relative chlorophyll contents and production of dry matter from roots and shoots. Additionally, *Thalia geniculata* at 80 kg N ha^{-1} and *Thalia sp.* at 120 kg N ha^{-1} treatments also caused increments in the growth of the seedlings.

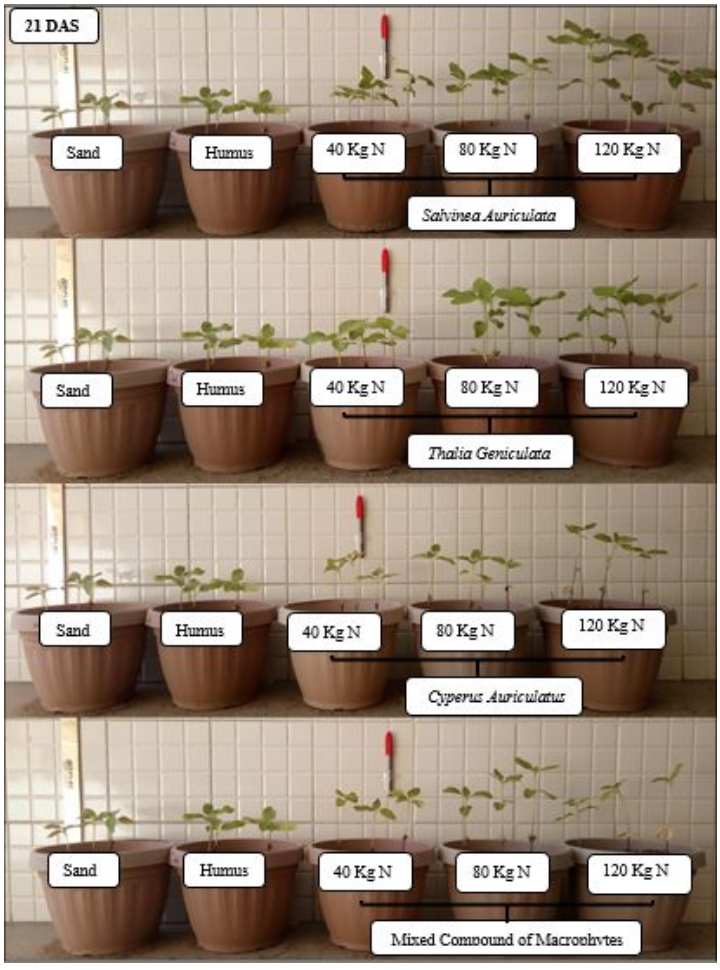


Figure 1. Sunflower seedlings submitted to different types and concentrations of macrophytes as source of N-total at 21 Days After Sowing (DAS).

In general, increases on growth variables were observed for aerial height (figure 2), collector diameter (figure 3), and number of leaves (figure 4) against control treatments (sand and earthworm humus at 80 kg N ha^{-1}) in at least one of the N concentrations employed for each macrophyte-containing treatment. The application of

macrophytes caused nitrogen (N) fertilization, which is one of the main macronutrients associated with plant growth, thus, low concentrations directly influence on the number of leaves, collar diameter and height.

For all variables there were increases in treatments 40, 80 and 120 kg N ha^{-1} 14 and 21 DAS. However, the greatest differences observed, compared to the sand and humus treatments at 80 Kg N ha^{-1} occurred at 21 DAS (Figure 1) in the treatment *Salvinia sp.* at 120 Kg N for height of aerial part (66.8 and 56% respectively), for collar diameter (33.6 and 32.5%, respectively) and number of leaves (41.7 and 47.8%, respectively).

For the height variable (Figure 2), it was found that at 14 and 21 DAS, except for *Salvinia sp.* treatment at 40 Kg N ha^{-1}, all treatments containing ROM presented values higher than those of sand and humus treatment at 80 Kg N ha^{-1}. At 21 DAS the highest averages obtained were from *Salvinia* and mixed treatments at 120 Kg N ha^{-1}, not differing from each other, being 56 and 49% higher than the humus treatment, respectively. With mean values of 13.9 and 13.3 cm respectively.

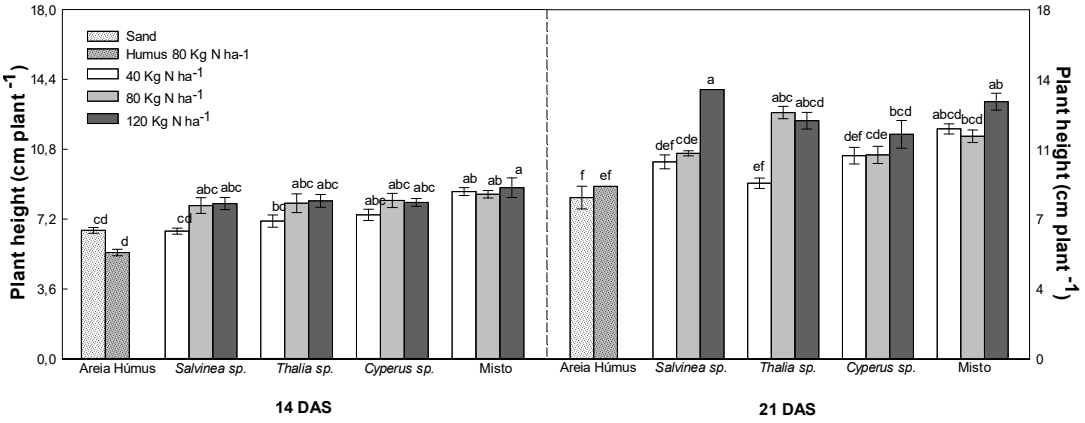


Figure 2. Height of aerial part of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 Days After Sowing (DAS).

As for the leaf number (Figure 3), at 14 DAS, treatments with ROM of *Salvinia auriculata* and *Thalia geniculata* were higher than those of the other treatments. At 21 DAS, the *Salvinia sp.* at 120 Kg N treatment showed a higher number of leaves and average of 6.8 leaves per plant, representing increase of 42 and 48% respectively when compared to sand and humus at 80 Kg N ha^{-1} treatments. The results were similar to those of Brito et al. (2018), which proved that at 21 DAS, treatments supplemented with

macroalgae residues reached an average of 7.5 leaves per plant, 36% higher than the others.

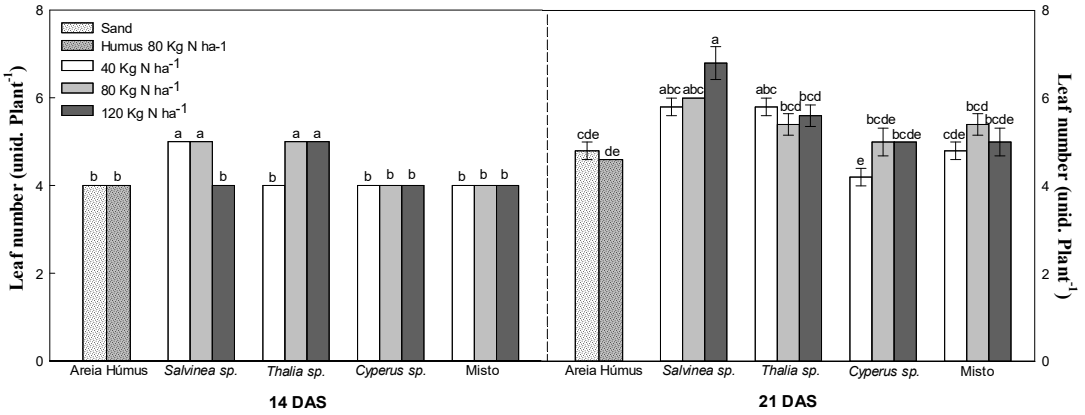


Figure 3. Number of sunflower seedling leaves in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha-1) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS).

According to the results found, the increase in the number of leaves, especially at 21 DAS, has proven the relevance of the macrophytes over the photosynthetic process, especially when associated to increase in leaf area (KARADOGAN and AKGÜN, 2009).

For stem diameter (Figure 4), it was found that between 14 and 21 DAS, there were no significant changes for the variable. However, the highlight is the treatment *Salvinia sp.* at 120 kg N ha^{-1} at 21 DAS, which differed from sand and humus treatments at 80 kg N ha^{-1}. It presented an average of 3,30 mm and a growth superior to humus 80 Kg N ha^{-1} in 33%.

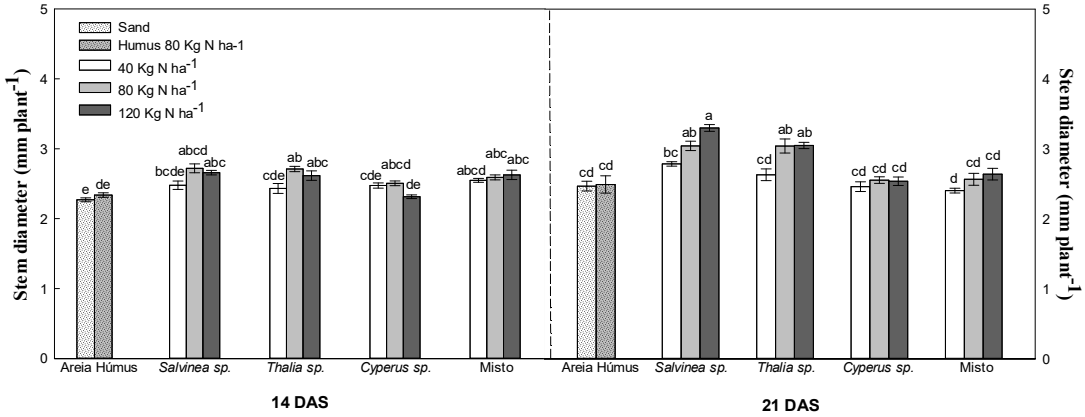


Figure 4. Stem diameter of sunflower seedling collar in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia*

geniculata, *Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS).

Similarly, Brito et al. (2018), Barbosa et al. (2017) and Junior et al. (2016) found, at 21 DAS, growth increments for the variable. Barbosa et al. (2017) and Brito et al. (2018), who studied the use of organic waste from *Eichhornia crassipes* and seaweed, respectively, as source of nutrients to analyze the initial growth of sunflower plants, observed increments in the diameters and heights of the plants. Souza et al. (2019), using different macrophyte species, also observed increases in sunflower plant growth variables, especially with *Salvinia auriculata* at 150% RN.

Santos et al. (2019) state that stem diameter is an important characteristic for sunflower culture, as chapters with larger diameters are indicative of larger number of hairs. It can be an indicator of development and productivity for sunflower plants (DALCHIAVON et al., 2016).

Regarding chlorophyll relative content (Figure 5), both at 14 DAS and 21 DAS were the highest values in treatments containing *Salvinia auriculata*. At 14 DAS, *Salvinia sp.* at 120 kg N ha^{-1} treatment presented higher mean compared to the others, with 17 and 20% higher than humus at 80 kg N ha^{-1} and sand, respectively.

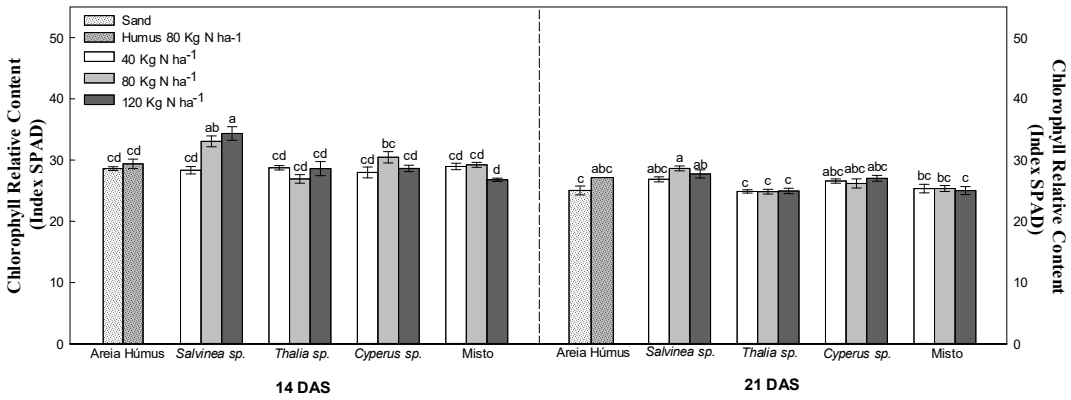


Figure 5. Relative Chlorophyll contents of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS).

At 21 DAS, *Salvinia sp.* 80 Kg N ha^{-1} treatment presented higher mean compared to the others, with mean of 28.6 and increase of 5.5% compared to humus 80 Kg N ha^{-1}, however, it did not differ from the other treatments with *Salvinia sp.*, *Cyperus sp.* and humus at 80 Kg N ha^{-1}.

It is believed that the highest levels of chlorophyll found in treatments with *Salvinia auriculata* have occurred due to the high concentration of iron (Fe) present in the species, verified in Table 1. According to (FAQUIN, 2005) Fe, besides being an enzymatic component, it is also involved in chlorophyll synthesis and when in deficit it reduces the chlorophyll content and the number of chloroplasts.

Regarding Shoot dry mass and dry mass of root (Figure 6A and 6B), *Salvinia sp.* at 120 Kg N ha^{-1} treatment was the one that presented the higheraccumulation of mass at the end of the evalluation period against the other treatments, presenting differences of Total Dry Mass (TDM) against sand and humus 80 Kg N ha^{-1} of approximately 269 and 201% respectively. This variable becomes essential because the amount of nutrients required is a function of their content in the plant material and the total dry matter produced (FAQUIN, 2005).

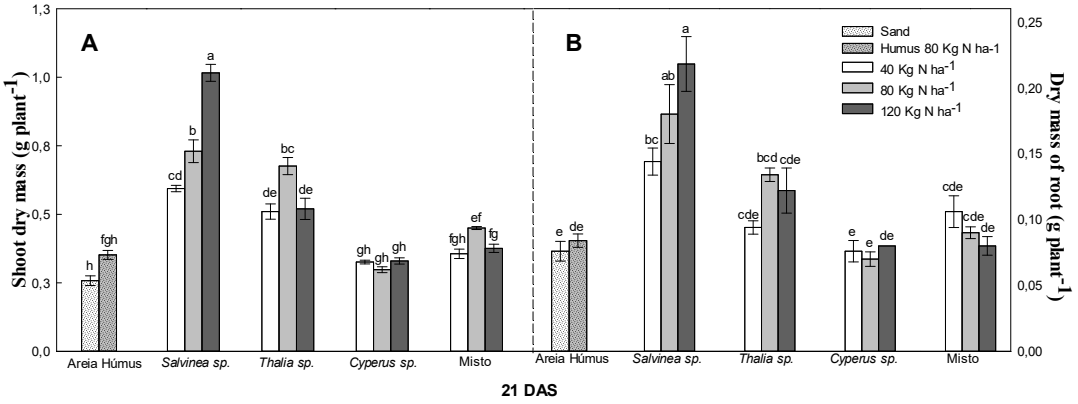


Figure 6. a) Shoot Dry Mass, b) Dry Mass of Root and of sunflower seedlings in substrates containing sand, earthworm humus or increasing concentrations (40, 80 or 120 kg N ha^{-1}) of *Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* or mixed macrophytes compound at 14 and 21 days after sowing (DAS).

The results found do not differ from those described by Barbosa et al. (2017) who observed that the use of ROM at 50 and 100% of the N recommendation for sunflower promoted higher growth, Britto et al. (2018) who observed that the use of organic algal bloom residues (ROAA), especially at 50% of the RN in ROAA, led to improvement in growth variables compared to other treatments and Braga et al. (2010) who observed higher photosynthetic efficiency of ornamental pot sunflower plants with increased nitrogen doses.

Pompêo (2017) points to the great potential of macrophyte biomass for use in agriculture as fertilizer; similarly, Silva et al. (2011) mention that experiments under

field conditions showed that organic fertilization with aquatic macrophytes (*Egeria densa*) resulted in higher corn production.

For sunflower cultivation, Lobo et al. (2011) state that the range for fertilization goes from 40 to 80 kg N ha^{-1}. Oliveira et al. (2012) found that 80 kg ha^{-1} dose of N had the best results of sunflower phytomass production. Thus, as the highest values are presented by the treatment of 120 Kg N ha^{-1}, in most of the analyzed variables, it is possible to apply higher concentrations of macrophytes in the physical-chemical conditions and stage of development of the plants used in this work as a recommended nutritional source for the species.

Additionally, the increasing and differential increases observed in treatments with different macrophyte concentrations, in particular *Salvinia sp.* at 120 Kg N ha^{-1}, during the experimental period suggest the possibility of using macrophytes as source of N-total and other macronutrients as nutritional stimulus for sunflower crops. Thus, macrophytes appear as possible alternatives to the problem of destination and disposal of waste with decreased environmental liabilities.

CONCLUSIONS

The using of the macrophyte species *Salvinia auriculata, Thalia geniculata, Cyperus auriculatus* (and the mixed compound) in the fertilization of sunflower seedlings promoted increments in most of the variables analyzed against those of plants with only sand (control) or sand + earthworm humus at 80 kg N ha^{-1}.

The highest values of the analyzed growth variables (Plant height, stem diameter, Leaf number, chlorophyll relative content and production of dry mass) were observed in *Salvinia sp.* at 120 Kg N ha^{-1} treatment, thus constituting the best treatment employed.

The work shows the potential of using macrophytes as a practical and less expensive alternative for the fertilization of sunflower culture, reconciling sustainable values with current agricultural practices.

REFERENCES

BARBOSA, R. M., SILVA, G. D. da, BRITO, P. O. B. de, BRAGA, B. B., & GONDIM, F. A. Resíduo orgânico de *Eichhornia crassipes* como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.12, n.4, p.242-247, 2017.

BRAGA, C. de L., FERNANDES, D. M, SIRTOLI L. F., & LUDWIG, F. Análise de crescimento de girassol ornamental de vaso e aplicação de nitrogênio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.9, n.2, p.52-59, 2010.

BRITO, P. O. B. de, MARTINS, K., BARBOSA R. M., ARRUDA, J. F. de, CARNEIRO, P. B. de M.; GONDIM, F. A. Growth, relative chlorophyll content and concentration of inorganic solutes in sunflowers plants supplemented with marine macroalgae organic residue. **Revista Ceres**, v.65, n.5, p.395-401, 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.

DALCHIAVON, F. C., MALACARNE, B. J. E., CARVALHO, & CLAUDIO G.P. de. Características agronômicas de genótipos de girassol (*Helianthus annuus L.*) em segunda safra no Chapadão do Parecis: MT. **Revista de Ciências Agrárias [online],** v.39, n.1, p.178-186, 2016.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras, MG: Centro de Editoração/FAEPE, 2005.

FERREIRA, D. F. **Sisvar.** Versão 5.6. Lavras, MG: UFLA/DEX, 2018.

FERREIRA, A. S., CAMARGO, F. A. O., TEDESCO, M. J., & BISSANI, C. A. Alteração de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, n.4, p.755-763, 2003.

FREITAS, C. A. S. de, SILVA, A. R. A. de, BEZERRA, F. M. L., ANDRADE, R. R. de, MOTA, F. S. B., & AQUINO, B. F. de. Crescimento da cultura do girassol irrigado

com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1031-1039, 2012.

KARADOGAN, T., & AKGÜN, Í. Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality characters. **Helia**, v.32, p.123-134, 2009.

HARRIS, T. M., HOTTLE, T. A., SORATANA, K., KLANE, J., & LANDIS, A. E. Life cycle assessment of sunflower cultivation on abandoned mine land for biodiesel production. **Journal of Cleaner Production,** v.112, n.1, p.182-195, 2016.

JUNIOR, F. H. N., GONDIM, F. A., & BRAGA, B. B. Crescimento inicial de dois cultivares de girassol em casa de vegetação sob condições de clima tropical quente subúmido. **Conexões Ciência e Tecnologia***, v.*10, n.2, p.32-39, 2016.

LOBO, T. F., GRASSI FILHO, H., & BRITTO, I. C. A. Efeito do nitrogênio na nutrição do girassol. **Bioscience Journal,** v.27, p.380-391, 2011.

MEES, J. B. R., GOMES, S. D., VILAS BOAS, M. A., FAZOLO, A., & SAMPAIO, S. C. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using Eichhornia crassipes and evaluation of the generated biomass composting. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.466-473, 2009.

OLIVEIRA, J. T. De L., CHAVES, L. H. G., CAMPOS, V. B., JÚNIOR, J. A. S., & FILHO, D. H. G. Fitomassa de girassol cultivado sob adubação nitrogenada e níveis de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, n.1, p.23-32, 2012.

PEREIRA, S. A., TRINDADE, C. R. T., ALBERTONI, E. F., & PALMA-SILVA, C. Macrófitas aquáticas como indicadores da qualidade da água em pequenos lagos rasos subtropicais, Sul do Brasil. **Acta Limnololgica Brasiliensia [online],** v.24, n.1, p.52-63, 2012.

PIRES, A. A., MONNERAT, P. H., MARCIANO, C. R., PINHO, L. G. da R., ZAMPIROLLI, P. D., ROSA, R. C. C., & MUNIZ, R. A. Efeitos da adubação alternativa do maracujazeiro – amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.1997-2005, 2008.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros.** São Paulo: Instituto de Biociências/USP editora, 2017.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v.12, n.3, p.406-424, 2008.

PRADO, R. de M. *Nutrição das plantas.* São Paulo: Editora UNESP, 2008.

RAMOS, M. R., SOUZA, D. C. de, LIMA, S. B. de, FRANCO, J. de M., BASSANI, F. B., BOLZANI, H. R., BELLONI, D. F., TAVARES, C. R. G., & LAUTENSCHLAGER, S. R. Remoção da carga orgânica de água residuária de lavanderia têxtil utilizando *pontederia parviflora* Alexander. **In:** I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, São Paulo, 2009.

SAMPAIO, E. V. de S. B., OLIVEIRA, N. M. B. de, & NASCIMENTO, P. R. F. do. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, n.4, p.995-1002, 2007.

SANTOS, J. M. da S. dos, PEIXOTO, C. P., SILVA, M. R. da, ALMEIDA, A. T, & CASTRO, A. M. P. B. de. Agronomic and productive characteristics of sunflower intercropped with forage in a crop-livestock integration system. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.514-525, 2019.

SILVA, J. V. H. da, BORGES, A. K. P., MORAIS, P. B. de, & PICANÇO, A. P. Compostagem das macrófitas aquáticas: *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* retiradas do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, Tocantins. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v.8, n.2, p.74-86, 2011.

SIQUEIRA, D. B., & OLIVEIRA-FILHO, E. C. Cianobactérias de água doce e saúde pública: uma revisão. **Ciências da Saúde**, v.3, n.1, p.109-127, 2005.

SOUZA, J. N. de, BRITO, P. O. B, FERREIRA, G. S, 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.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** Porto Alegre, RS: Artmed, 2006.

TANAKA, J. T., LOCASTRO, J. K., LIMA, S. B. de, CARVALHO, K. Q. de, & SOUZA, D. C. Desenvolvimento de macrófitas aquáticas em uma estação de tratamento de esgotos sanitários por leitos cultivados. **In:** II Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Curitiba, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

Capítulo II

(Artigo submetido à Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável)

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

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

Suplementación con *Salvinia auriculata* reduce los efectos nocivos del estrés hídrico en las plántulas de girasol

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 controle e 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.
Palavras – chave: Macrófita, *Helianthus annus* L., Déficit hídrico.

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 in the activities of the antioxidative enzymes: superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase on leaves and roots of sunflower seedlings submitted to control and 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.
Key words: Macrophyte, *Helianthus annus* L., Hydric deficit.

Introdução

A cultura do girassol (*Helianthus annus 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 de sua semente (Grunvald *et al*., 2014). Além disso, a cultura recebe destaque por ter maior adaptação e resistência à seca (Dantas *et al*., 2015; Siqueira e 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, seja no nível morfológico, molecular ou fisiológico (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 CO_2 e consequentemente na fotossíntese, estimulando assim a produção de peróxido (H_2O_2) nos peroxissomos. O H_2O_2 juntamente com outras espécies reativas de oxigênio, que são abundantemente produzidas sob condições de estresse, causam o estresse oxidativo, podendo ainda induzir a 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 (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 O_2^- a oxigênio com a formação de H_2O_2 (Karuppanapandian *et al.,* 2011; Sharma *et al.,* 2012), por ser tóxico,

o H_2O_2 é dismutado em H_2O e O_2 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 dos corpos hídricos, o uso de macrófitas é uma opção financeiramente viável quanto ao uso de fertilizante.

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

Salvinia auriculata empregada no experimento

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 são 3° 52' 45.912" S 38° 37' 46.740" W. A espécie supracitada foi identificada pelo herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará. Após as coletas, o material foi lavado e seco em estufa a 80ºC 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), na qual a quantidade de substrato *Salvinia auriculata* a ser aplicado por vaso (Tabela 1) foi proporcional à recomendação da Embrapa que estabelece 80 kg N ha^{-1} para produção de girassol (EMBRAPA, 2014).

Tabela 1. Caracterização química dos substratos utilizados no experimento

Amostras	g Kg^{-1}						mg Kg^{-1}			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
Salvinia auriculata	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

Condições experimentais, material vegetal, tratamentos e coleta das plântulas

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 dois (irrigadas e não irrigadas) x três (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. A escolha dos substratos se embasou no trabalho de Souza *et al.* (2019), onde foi demonstrado o potencial nutricional da *Salvinia auriculata* em relação às demais macrófitas pesquisadas, assim como foi verificada a melhor concentração: 120 kg N ha^{-1}.

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 sem solução nutritiva, 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).

Durante a 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.

Preparação dos extratos enzimáticos e determinações das atividades das enzimas antioxidantivas

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 4 °C.

A atividade da CAT foi determinada de acordo com Havir & McHale (1987), pelo decréscimo na absorbância em 240 nm, em virtude do consumo de H_2O_2; a da peroxidase de guaiacol (GPX) pelo método de Kar & Mishra (1976), em que a reação foi acompanhada pelo incremento da absorbância em 470 nm, monitorando-se a formação do tetraguaiacol; a da APX pelo método de Nakano & Asada (1981), em que a oxidação do ascorbato foi medida pelo decréscimo na absorbância em 290 nm, e a da SOD pelo método de Beauchamp & Fridovich (1971), em que a reação foi medida através do aumento da absorbância em 560 nm, devido a produção de formazana azul, resultante da fotorredução do p-Nitrobluetetrazolium (NBT).

As atividades das enzimas CAT, APX e GPX foram determinadas em µmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF, e a da SOD em UA g^{-1} 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.

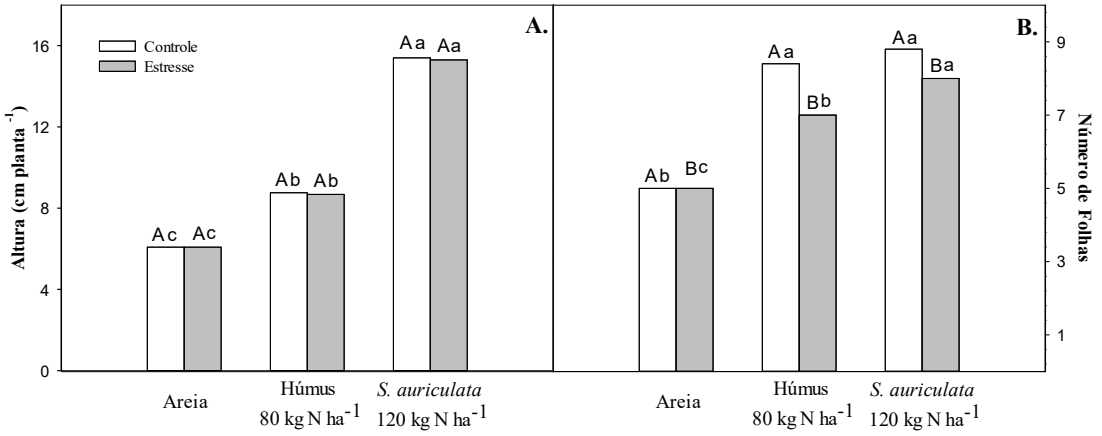
Resultados e Discussão

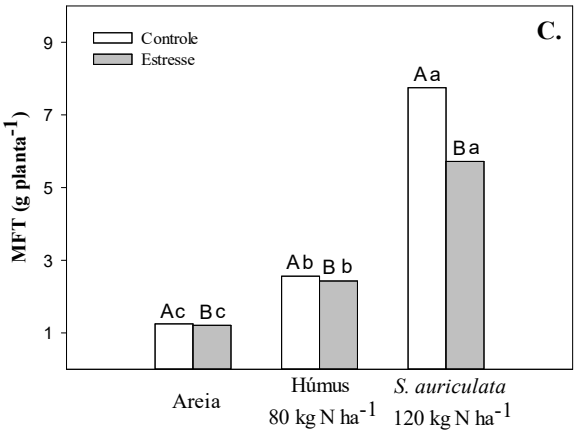
Análise de crescimento inicial

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 fresta 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 se diferiram estatisticamente, contudo, se diferiram quanto ao 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, mesmo em condições limitantes de campo – casa de vegetação e vasos, pois as raízes não se desenvolvem de forma livre e a temperatura geralmente é mais elevada (Figura 1A).

Para a variável número de folhas (Figura 1B), verificou-se que o tratamento em condições de estresse hídrico foi superior à areia e ao adubo em 35 e 12,5%, respectivamente. 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 e ao adubo em 43,2 e 4,5%, respectivamente.

Quanto à MFT, verificou-se um aumento da quantidade de matéria fresca em função da quantidade de N utilizado. Em ambas condições, as plântulas suplementadas com *S. auriculata* apresentaram valores superiores aos demais tratamentos (areia ou adubo). A quantidade de MFT, em condição de estresse, foi 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 proporcionar reduções no crescimento e na expansão celular (Santos *et al*., 2014), o trabalho demonstrou que a utilização de resíduos orgânicos de *S. auriculata.* maximizaram a produção de MFT. 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.

Atividade enzimática nas folhas

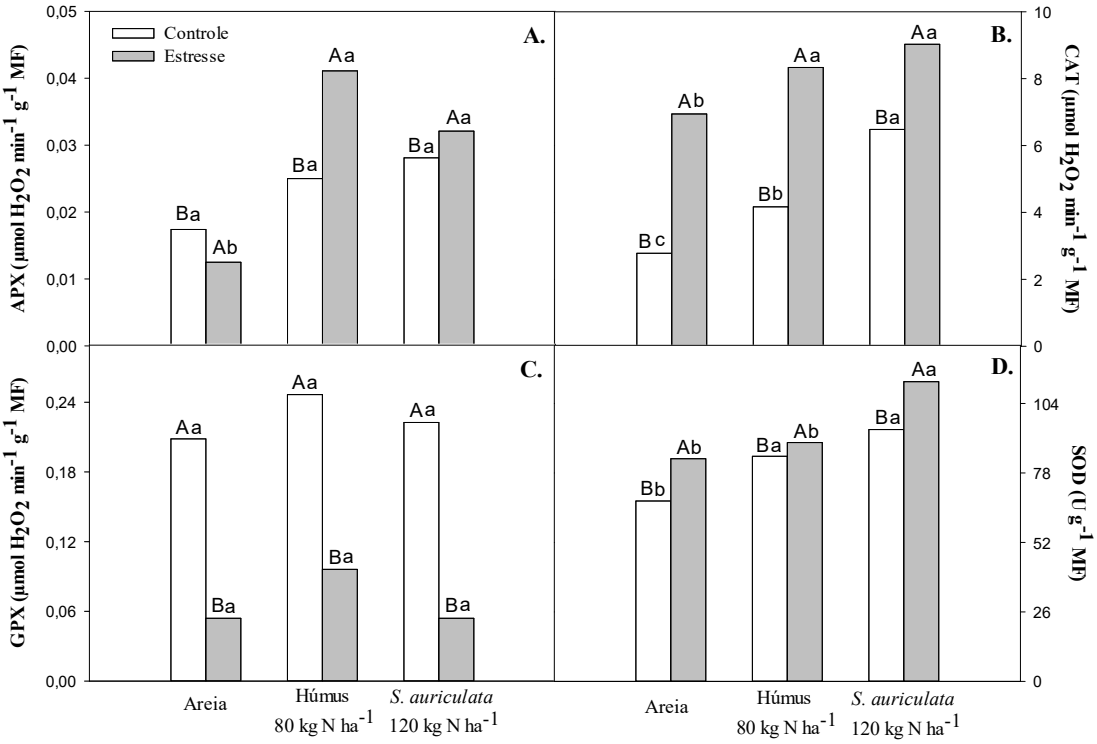
De acordo com a análise de variância, verificou-se que houve efeito significativo para as atividades das enzimas APX em folhas no fator Substrato (S) e Irrigação (I) e na interação (S x I). Enquanto para enzima CAT e SOD só não houve efeito significativo para a interação (S x I). Para as atividades de 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 por meio da dismutação do superóxido pela SOD, pode ter ocorrido uma redução do H_2O_2 pela enzima APX através do ascorbato como redutor (Yoshimura *et al.,* 2000).

Os resultados encontrados mostraram 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 H_2O_2 produzido durante a fotorrespiração (Monteiro *et al*., 2018) quando comparado às demais enzimas analisadas.

Esta enzima apresenta elevada atividade quando o organismo se encontra em estresse oxidativo (Barbosa *et al*., 2014). A CAT é considerada a principal enzima a catalisar a eliminação do H_2O_2 (Jaleel *et al.*, 2009), uma vez que sua atividade é efetiva, principalmente, em condições de estresse severo quando os níveis de H_2O_2 são altos, por isso são consideradas indispensáveis para a desintoxicação de ROS (Dubey, 2011), o que sugere que os substratos orgânicos podem aumentar a sobrevida do girassol em períodos de escassez de água, intensificando a aclimatação das plântulas ao estresse imposto.

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 aos 5ª dias após a suspensão da irrigação (aos 21 dias após a semeadura). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas no 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 ($P \leq 0,05$).



A atividade enzimática da GPX nas folhas foi maior nos tratamentos sob condições 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 encontrou valores na ordem de 1,6 a 2,8 µmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF para tratamentos suplementados com chorume de aterro sanitário. Complementa-se que apesar do déficit hídrico imposto, a temperatura relativamente mais baixa nas raízes quando comparada à parte aérea das folhas podem 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 o silogismo 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 $O^{2\bullet}$ para H_2O_2 e

O_2 em todos os compartimentos subcelulares (Gill *et al*., 2015). Analogamente a maior atividade da SOD se correlaciona com a maior atividade da CAT.

Atividade enzimática nas raízes

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 estatísticas quanto ao crescimento vegetal em virtude do tipo de substrato e da condição de irrigação empregada.

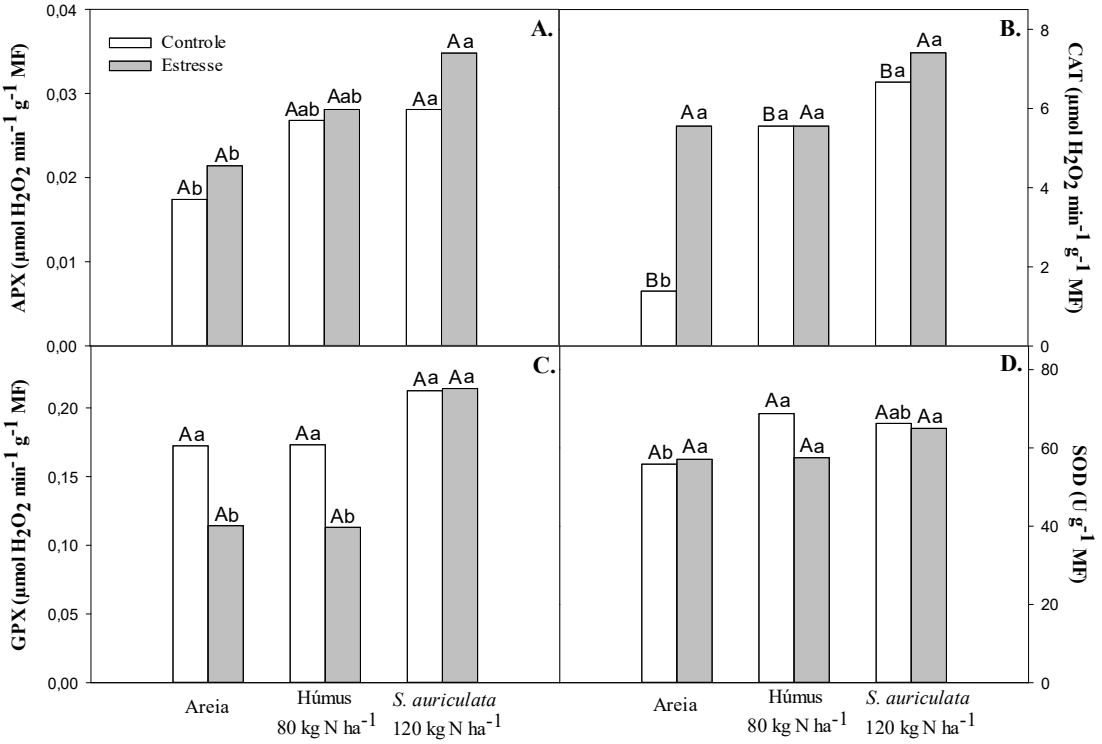
Verificou-se nas raízes das plântulas de girassol suplementadas com *Salvinia auriculata* e com o húmus as maiores atividades da APX (Figura 3A). Com relação à atividade de GPX, constatou-se que o estresse hídrico não afetou a atividade da GPX nas plantas suplementadas com a macrófita, uma vez que não houve diferença estatística quanto ao tratamento controle. Foi observado uma diminuição da atividade da GPX nos tratamentos com areia e húmus sob condição de estresse, em que o tratamento com a macrófita apresentou incrementos de aproximadamente 50% em comparação aos tratamentos supracitados (Figura 3C).

Quanto à CAT nas raízes (Figura 3B), foi perceptível que sob condição de estresse hídrico, os tratamentos não se diferiram. Enquanto em condição controle 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 5,0 a 7,0 μmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF para a CAT. Isso pressupõe uma relação benéfica da suplementação orgânica nas condições impostas, inferindo assim os resultados encontrados na pesquisa.

Apesar dos resultados encontrados, em que foi observado maior aumento percentual em atividade da CAT no substrato areia, alguns trabalhos como Junior et al. (2017) retratam que sob condições de estresse e com adubação nitrogenada, as

atividades da CAT tendem a serem maiores, representando uma melhor capacidade de aclimatação 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 5ª 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 ($P \leq 0,05$).



A atividade da SOD nas raízes foi modulada de maneira diferente quando comparada a 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 submetidas à diferentes doses de cádmio, também observou que a atividade da SOD apresentou resposta diferente entre folha e raiz, se mostrando maior nas folhas e diminuindo nas raízes. Visto que a ação da SOD resulta na formação de H_2O_2, ela está também intimamente ligada com a atividade da catalase e peroxidases, as quais eliminam o H_2O_2, 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* e húmus promoveram 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 aclimatação das plantas aos estresses abióticos (Gondim *et al*., 2012; Kanungo & Joshi, 2014; Jadoski *et al*., 2015; Dousseau *et al*., 2016; Junior *et al*., 2017; 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.

Conclusões

A suplementação com a macrófita *Salvinia auriculata* a 120 kg N ha^{-1} além de fomentar melhor crescimento e desenvolvimento nas plântulas de girassol em ambas condições de irrigação, promoveu aumentos significativos nas atividades das enzimas antioxidativas em folhas e raízes.

Agradecimentos

À FUNCAP pela concessão de bolsa de pesquisa.

Ao IFCE – Campus Maracanaú, por fornecer toda a infraestrutura e recursos humanos necessários.

Referências

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.

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

BIN, T.; SHANG-ZHONG, X.; XI-LING, Z.; YONG-LIAN, Z.; FA-ZHAN, Q. Changes of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of waterloggingtolerant and waterlogging-sensitive maize genotypes at seedling stage. Agricultural Sciences in China. v.9, n.5, p.651-661, 2010. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60140-1.

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. http://dx.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 stressand re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. Frontiers in Plant Science, v. 6, p. 1-15, 2016. doi: 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. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p350-357.

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. 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. 10.1201/9781439854082-10.

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. 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.

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. DOI: 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. 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 H_2O_2 leaf spraying is associated with improved gas Exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. Theoretical and Experimental Plant Physilogy, v.25, p.251-260, 2012. http://dx.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. http://dx.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. http://dx.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. http://dx.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 CO_2 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. http://dx.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. http://www.fspublishers.org.

JUNIOR, G. do N. A.; 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. https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10.

JUNIOR, F. H. N.; 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.

JUNIOR, S. de O. M.; GUERRA, H. O. C.; ANDRADE, J. R. de; ARAÚJO, D. L. de; CHAVES, L. H. G.; SUASSUNA, J. F. Growth, development and production of three cultivars in sunflower under different water regimes. Revista Ciências Agrárias, v. 59, p. 124-131, 2016. http://dx.doi.org/10.4322/rca.2156.

KANUNGO, M.; JOSHI, J. Impact of Pyraclostrobin (F-500) on crop plants. Plant Science Today, v. 3, n.1, p. 174-178, 2014. 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. http://dx.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. doi: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. 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.

MARENGO 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.

MITTLE, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; BREUSEGEM, F.V. Reactive oxygen gene network of plants. Abiotic Stress Series, v.9, n.10, p.417-422, 2004. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinash chloroplasts. Plant & Cell Physiology, v. 22, n.5, p. 867-880, 1981. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.

PYNGROPE, S.; BHOOMIKA, 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. https://doi.org/10.1007/s00709-012-0444-0.

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA. M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. Revista Virtual de Química, v.9, n.1, p.317-369, 2017. http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170020.

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. 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. 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. 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. 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. http://dx.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. https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.

TIAN, S.; WANG, X.; PING, L.; WANG, H.; JI, H.; XIE, J.; QIU, Q.; SHEN, D.; DONG, H. Plant aquaporin AtPIP1;4 Links apoplastic H_2O_2 induction to disease immunity pathways. Plant Physiology, v.171, n.3, p.1635-1650, 2016. https://doi.org/10.1104/pp.15.01237.

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. DOI: 10.1111 / pbi.12688

YOSHIMURA, K.; YABUTA, Y.; ISHIKAWA, T.; SHIGEOKA, S. Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzimes in response to oxidative stresses. Plant Physiology, v. 123, p. 223-233, 2000. DOI: 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. Science doi: 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 cientifica. Maringá: UNICESUMAR, 2017.

Capítulo III

(Artigo submetido à Revista Ciência Agronômica)

Dry mass production and antioxidative enzymatic activity in sunflower seedlings under salt stress conditions supplemented with *Salvinia auriculata*

Produção de matéria seca e atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com *Salvinia auriculata*

ABSTRACT - The sunflower culture presents acclimatization to the various climatic conditions, thus justifying the prominence and competitiveness in the production of biodiesel in Brazil. However, the semi-arid soil and climate conditions and the current agricultural production model limit the crop, since abiotic stresses such as saline stress cause disturbances on the growth, development, and productivity of plants. The objective of the work was to evaluate the growth and the antioxidative enzymatic activity of sunflower seedlings under saline conditions supplemented with the macrophyte *Salvinia auriculata* in the substrate by evaluating the dry mass production and the antioxidative activities dismutase of superoxide (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPX) in leaves and roots. The experimental design was entirely randomized in which the first arrangement corresponded to a witness without salt and two concentrations of NaCl in aqueous solution (0, 50 and 100 mM of NaCl) and the second arrangement for three types of substrates (sand; sand + commercial humus 80 kg N ha^{-1} and sand + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}), with 5 repetitions per treatment. It was verified that the gradual increase of NaCl concentrations caused a greater decrease in dry mass production. In general, there was an increase in the activities of the antioxidative enzymes, mainly in the plants that received *Salvinia auriculata* supplementation. The data showed that the supplementation with *Salvinia auriculata* caused minimization of the deleterious effects of salt stress on plant growth.

Keywords: Renewable energies. *Helianthus annuus* L.. Nitrogen fertilization. Salinity.

RESUMO - A cultura do girassol apresenta aclimatação às diversas condições climáticas, deste modo, justifica-se o destaque e competitividade na produção de biodiesel no Brasil. Contudo, as

condições edafoclimáticas semiáriadas e o atual modelo de produção agrícola limitam a cultura, uma vez que estresses abióticos como o estresse salino, ocasionam distúrbios no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade das plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e a atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições salinas suplementadas com a macrófita *Salvinia auriculata* no substrato avaliando-se a produção de massa seca e as atividades antioxidativas dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase de ascorbato (APX) e peroxidase do guaiacol (GPX) em folhas e raízes. O delineamento experimental inteiramente casualizado em que o primeiro arranjo correspondeu a uma testemunha sem o sal e a duas concentrações de NaCl em solução aquosa (0, 50 e 100 mM de NaCl) e o segundo arranjo para três tipos de substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1} e areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}), com 5 repetições por tratamento. Verificou-se que o aumento gradativo das concentrações de NaCl provocou maiores descréscimo na produção de massa seca. De modo geral, houve aumento nas atividades das enzimas antioxidativas, principalmente nas plantas que receberam suplementação *Salvinia auriculata*. Os dados demonstraram que a suplementação com *Salvinia auriculata* ocasionaram minimização dos efeitos deletérios do estresse salino no crescimento vegetal.

Palavras-chave: Energias renováveis. *Helianthus annuus* L.. Adubação nitrogenada. Salinidade.

INTRODUÇÃO

A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira ganhou forças com o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2010, na qual o cultivo de oleaginosas no Brasil teve aumento expressivo (FILHO *et al*., 2019).

A soja ainda é a principal matéria prima na produção de óleo (FILHO *et al*., 2019), contudo, oleaginosas com boas características agronômicas, como o girassol, passaram a ser considerados potenciais insumos de produção (SANTOS JÚNIOR *et al*., 2011). Além do girassol ter bastante aclimatação às diferentes condições climáticas (JARDINI *et al*., 2014), a cultura tem alto rendimento de grãos (SIQUEIRA E SILVA *et al*., 2019) e excelente qualidade

do óleo produzido (SOUZA *et al*., 2014).

Entretanto, estudos mostram que o crescimento e o desenvolvimento da cultura do girassol são fortemente influenciados por estresses abióticos (SILVA e NASCIMENTO, 2019). Apesar de diversas pesquisas reportarem efeitos negativos do estresse salino nas plantas, ainda se tem pouco conhecimento sobre a tolerância dessa espécie à salinidade (OLIVEIRA et al, 2019).

Apontadas corriqueiramente pela escassez hídrica, as regiões semiáridas são as que mais sofrem com problemas de salinização dos solos devido aos elevados índices de radiação solar, além das baixas precipitações não possibilitarem lixiviação suficiente dos sais (WALTER *et al.*, 2018). Dentre os estresses abióticos, a salinidade é um dos fatores que mais prejudicam a produção das plantas (FATMA *et al*., 2014; SILVA e NASCIMENTO, 2019).

O estresse salino afeta as culturas devido aos efeitos osmóticos e tóxicos, em que íons específicos ocasionam desordens fisiológicas e desbalanceamento nutricional (GHEYI *et al*., 2010; NEGRÃO *et al*., 2017). Adicionalmente, induz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), responsáveis pelo estresse oxidativo. Estas podem alterar o metabolismo celular, causando danos oxidativos nos lipídios, proteínas e ácidos nucléicos, além de poder levar à destruição oxidativa das células (HOSSAIN; DIETZ, 2016; SILVA, 2017).

Diversas pesquisas vêm evidenciando que, mesmo em meio salino, as plantas de girassol quando suplementadas com nutrientes orgânicos, como a adubação nitrogenada, conseguem melhorar a eficiência de seus mecanismos de defesa, aumentando a atividade das enzimas antioxidativas, e consequentemente, atenuando os efeitos do estresse salino (CONCEIÇÃO, 2015; SOUSA, 2019).

As macrófitas têm se mostrado uma alternativa sustentável para substituir nutrientes no solo, gerando diversos benefícios, como a recuperação de corpos hídricos eutrofizados, promoção da reciclagem dos nutrientes, além de reduzir o uso de adubos e fertilizantes (POMPÊO, 2017).

Diante do contexto, acredita-se que as plantas podem se tornar mais tolerantes. O uso de água salina no cultivo do girassol suplementado com macrófitas pode ser uma alternativa para

pequenos produtores, bem como para conhecer as alterações fisiológicas e bioquímicas resultantes dessa adubação em condições de estresse. Assim, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas e técnicas que otimizem a produção de insumos com o uso de águas salinas (MORAES *et al.*, 2014; COVA *et al*., 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2017; LIMA *et al*., 2017).

O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e a atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições salinas suplementadas com *Salvinia auriculata* através de avaliações da produção de massa seca e das atividades das enzimas dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase de ascorbato (APX) e peroxidase do guaiacol (GPX) em folhas e raízes.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições experimentais e material vegetal

O experimento foi conduzido de novembro a dezembro de 2019 em casa de vegetação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, pertencente ao município de Maracanaú, Ceará, Brasil.

Utilizaram-se semente de girassol (*Helianthus annuus L.*) cultivar BRS 323 cedidas pela EMBRAPA, Produtos e Mercado – Escritório Dourados, MS, Brasil. As sementes foram semeadas em vasos plásticos de 5 L com cinco sementes/vaso. Ao 7º dia após semeadura (DAS) foi realizado desbaste, para garantir maior vigor às plântulas, deixando-se somente 2 por vaso.

Tratamentos e delineamento experimental

Para suplementação das plântulas de girassol no experimento foi utilizada a espécie de macrófita *Salvinia auriculata* Aubl., obtida às margens da lagoa de Maracanaú – Ceará – Brasil, durante o período seco, cujas coordenadas foram 3° 52' 45.912" S 38° 37' 46.740" W. A espécie foi identificada pelo herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará.

A fim de quantificar a *Salvinia auriculata* a ser acrescida aos substratos, secou-se o material em estufa com circulação forçada de ar a 80 ºC e, em seguida determinou-se a concentração de Nitrogênio total (N) pela metodologia de Malavolta (1997), encontrando-se o

valor de 7,6 g.kg^{-1}. Seguiu-se a recomendação da Embrapa que estabelece 80 kg N ha^{-1} para produção de girassol (EMBRAPA, 2014). As características químicas da macrófita *Salvinia auriculata* e do húmus comercial acrescido à areia utilizados para a composição dos substratos podem ser observadas na (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas da macrófita *Salvinia auriculata* e do húmus comercial acrescido à areia de granulometria fina utilizados para a composição dos substratos para plantas de girassol.

Amostras	g.Kg^{-1}						mg.Kg^{-1}			
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
Salvinia auriculata	7,6	1,3	4,8	0,8	1,5	4	6019,5	23,4	29	341,9
Húmus de minhoca comercial	2,2	8,43	8,10	1,52	1,85	-	3445,5	1,80	89,3	380,1

O delineamento experimental inteiramente casualizado em que o primeiro arranjo correspondeu a uma testemunha sem o sal e a duas concentrações de NaCl em solução aquosa (0, 50 e 100 mM de NaCl) e o segundo arranjo para três tipos de substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1} e areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}), com 5 repetições por tratamento, sendo cada uma constituída por 1 vaso com 2 plântulas. Os resultados foram submetidos às análises de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2018) e o programa gráfico Sigma Plot 11.0.

A irrigação foi realizada manualmente uma vez por dia e a 80% da capacidade de campo (CC) com soluções de NaCl (0, 50 ou 100 mM) por 21 dias após semedura. As soluções testemunhas (água sem NaCl) e salinas (50 e 100 mM de NaCl) aplicadas em cada vaso tinham volume de 100 mL e foram mensuradas por proveta. Aos 21 DAS, as plântulas foram coletadas e segregadas em parte aérea (caules + folhas) e raízes para as determinações de massas secas e para preparação dos extratos para as determinações das atividades enzimáticas.

Determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST)

Para determinação da massa seca, as plântulas foram segregadas em parte aérea (folhas + caules) e raízes e acondicionadas em sacos de papel que foram postos para secar em estufa de circulação forçada em temperatura de 80 ºC (± 1 ºC) até atingir massa constante. Posteriormente, o material vegetal foi devidamente pesado em balança de precisão analítica.

Preparação dos extratos enzimáticos e determinações das atividades das enzimas antioxidantivas

Os extratos de folhas e raízes foram obtidos a partir da maceração em almofariz de 1 g de matéria fresca em nitrogênio líquido para obtenção do pó. Em seguida, adicionaram-se 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 4 ºC.

A atividade da CAT foi determinada pelo decréscimo na absorbância em 240 nm, devido ao consumo de H_2O_2 (HAVIR; McHALE, 1987); a da GPX pelo método de Kar e Mishra (1976), sendo a reação acompanhada pelo incremento da absorbância em 470 nm, devido à formação do tetraguaiacol; a da APX pelo método de Nakano e Asada (1981), sendo a oxidação do ascorbato medida pelo decréscimo na absorbância em 290 nm, e a da SOD pelo método de Beauchamp e Fridovich (1971), sendo a reação medida através do aumento da absorbância em 560 nm, devido à produção de formazana azul, resultante da fotorredução do p-Nitrobluetetrazolium (NBT). As atividades das enzimas CAT, APX e GPX foram expressas em μmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF, e a da SOD em UA g^{-1} MF, onde MF representa matéria fresca e sendo uma UA (unidade de atividade enzimática) definida como sendo a quantidade de enzima necessária para causar 50% de inibição da fotorredução do NBT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de massa seca

Através da análise de variância (tabela 2) verificou-se que houve efeito significativo para produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) nos fatores: Substrato (S) e Níveis de Sal (NS) e na interação (S x NS). Para a massa seca total (MST) somente a interação (S x NS) não foi significativa ao nível de ($p < 0,05$).

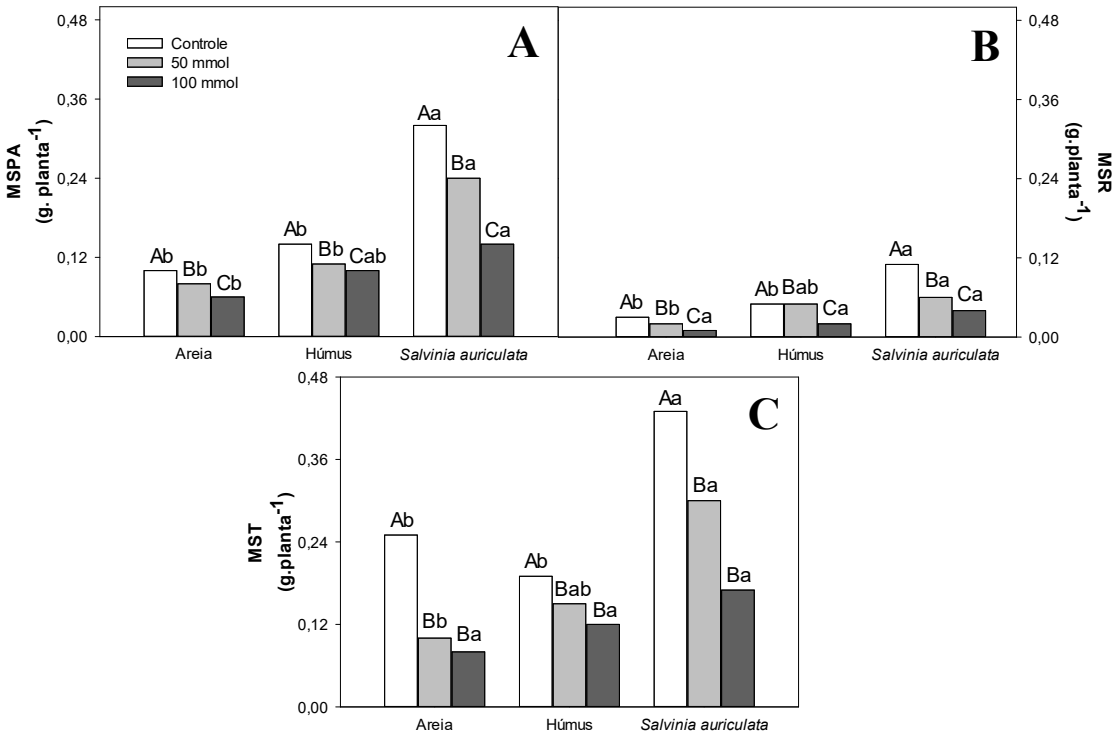
Tabela 2. Resumo das análises de variância da produção de massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e massa seca total (MST) de plântulas de girassol cultivar BRS 323 em função dos diferentes níveis de salinidade (0, 50 e 100 mM de NaCl) e substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}).

		Quadrado Médio		
Fonte de Variação	GL	MSPA	MSR	MST
Substrato (S)	2	0.0922^{**}	0.0093^{**}	0.1188^{**}
Níveis_Sal (NS)	2	0.0277^{**}	0.0064^{**}	0.1054^{**}
S x NS	4	0.0089^{**}	0.0014^{**}	0.0127^{ns}
Erro	32	0.0007	0.0002	0.0097
Total Corrigido	44	-	-	-
CV (%)	-	18,92	37,52	49,24

GL – Grau de liberdade; MSPA – Massa seca da parte aérea em g/planta; MSR – Massa seca da raiz em g/planta; MST – Massa seca total em g/planta; ** – significativo à $p \leq 0.05$; ^{ns} – não significativo; CV – Coeficiente de variação.

As condições salinas (50 e 100 mM de NaCl) induziram a redução no acúmulo de massa seca na parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) em todos os substratos analisados. As plântulas suplementadas com *Salvinia auriculata* apresentaram melhor capacidade de incremento de massa seca total tanto na condição controle (0 mM de NaCl) quanto à 50 mM de NaCl, contudo, não houve diferenciação estatística dos tratamentos para os substratos empregados (areia, húmus e *Salvinia auriculata*) na condição de 100 mM de NaCl.

Figura 1 - Massa de matéria seca da parte áerea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) de plântulas de girassol cultivar BRS 323 em função dos diferentes níveis de salinidade (0, 50 e 100 mM de NaCl) e substratos (areia, húmus e *Salvinia auriculata*). Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$).



Os valores de massa seca na parte áerea (Figura 1A) apresentaram diferença estatística quanto ao tipo de irrigação, a condição de 100 mM de NaCl proporcionou as menores produções de MSPA. Na concentração de 0 mM de NaCl os tratamentos com *Salvinia auriculata* se diferenciaram estatisticamente em relação aos demais substratos proporcionando incrementos de 128 e 266% comparados ao húmus e à areia, respectivamente. O mesmo ocorreu na concentração de 50 mM de NaCl em que foi observado incrementos nos tratamentos suplementados com *Salvinia auriculata* de 118 e 200% comparados ao húmus e à areia, respectivamente. Na concentração de 100 mM de NaCl houve a menor produção de MSPA, o substrato *Salvinia auriculata* apresentou acréscimo de 300% comparado à areia e não houve diferenças estatísticas da *Salvinia auriculata* e do húmus.

Na concentração de 0 mM de NaCl, os tratamentos com *Salvinia auriculata* se diferenciaram estatisticamente na produção de massa seca nas raízes (Figura 1B) e os incrementos foram de 120 e 266% comparados ao húmus e à areia, respectivamente. Na concentração de 50 mM de NaCl, o tratamento com *Salvinia auriculata* não diferiu do húmus e

houve incremento de 300% comparado à areia. Na concentração de 100 mM houve a menor produção de MSR e os substratos não diferiram entre si.

Por meio dos dados levantados, a condição controle proporcionou maior produção de massa seca total em todos os substratos utilizados e os tratamentos suplementados com *Salvinia auriculata* proporcionaram maior produção de MST. A intensificação da salinidade reduziu significativamente a MSPA, MSR e consequentemente a MST (Figura 1C). O efeito da salinidade sobre o acúmulo de massa seca tem sido observado por vários autores e em diferentes espécies de oleaginosas de interesse agronômico, como o girassol (MORAES *et al*., 2011). O acúmulo de fitomassa seca total é tido como a variável de crescimento vegetal mais afetada pela salinidade (BRITO *et al*., 2008).

Essa inibição de crescimento, demonstrada por meio da MSPA, MSR e MST, é explicada por Flowers (2004) devido o estresse salino induzir a diminuição do potencial osmótico da solução do solo, assim como aumentar a possibilidade de ocorrência de toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos, em função da acumulação em excesso de determinados íons nos tecidos vegetais. Assim, a salinidade impõe um gasto maior de energia nas plantas para a absorção da água e, por consequente, ocorre diminuição na produção de matéria seca (LEONARDO *et al*., 2007).

Esses dados corroboram com vários trabalhos (GOMES *et al*., 2015; AZEVEDO *et al*., 2016; RIBEIRO *et al*., 2016; PACHECO, 2019; TRAVASSOS *et al*., 2020) onde os autores observaram que as plantas de girassol tiveram decréscimos na produção de massa seca em condições salinas.

Atividade enzimática nas folhas

De acordo com a análise de variância (tabela 3), verificou-se que houve efeito significativo na atividade das enzimas CAT e GPX em folhas nos fatores: Substrato (S) e Níveis de Sal (NS) e na interação (S x NS). Para a atividade das enzimas APX somente o NS não foi significativo ao nível de ($p < 0,05$) e para a atividade das enzimas SOD somente a interação (S x NS) não demonstrou diferença estatística.

Tabela 3. Resumo das análises de variância das atividades das enzimas peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX) e superóxido dismutase (SOD) em folhas de plântulas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}) sob condições de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl).

		Quadrado Médio			
Fonte de Variação	GL	APX	CAT	GPX	SOD
Substrato (S)	2	364,6169**	18,5910**	1,4515**	2950,1772**
Níveis_Sal (NS)	2	45,4410^{ns}	37,7344**	4,2595**	1464,6095**
S x NS	4	79,4301**	77,5926**	0,4285**	639,6617^{ns}
Erro	32	14,8872	1,5071	0,0481	238,2818
Total Corrigido	44	-	-	-	-
CV (%)	-	36,39	25,28	22,02	29,93

GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ** – significativo à $p \leq 0.05$; ^{ns} – não significativo.

Para atividade da enzima APX (Figura 2A), na condição controle (0 mM de NaCl) o tratamento suplementado com *Salvinia auriculata* apresentou acréscimo de 267 e 120% em relação à areia e ao húmus, respectivamente. Quanto à condição de 50 mM de NaCl, os tratamentos não se diferiram quanto ao substrato. Já para a condição de 100 mM de NaCl, todos os tratamentos diferiram entre si e houve acréscimos mais expressivo da enzima APX, em que o tratamento com *Salvinia auriculata* revelou aumento de 360% e 196% em relação a areia e ao húmus, respectivamente.

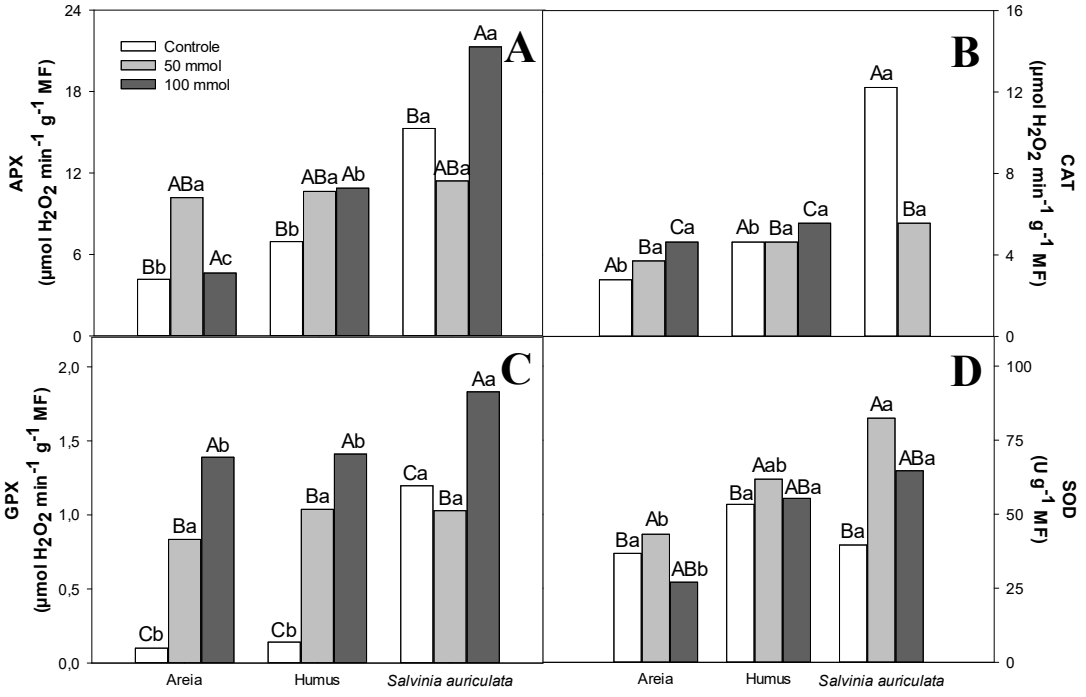
Foi observado, para as condições de irrigação estudadas, que os tratamentos suplementados com *Salvinia auriculata* demonstraram maior atividade enzimática de APX, em especial na condição de 100 mM de NaCl. O aumento da atividade de APX na condição supracitada é deduzido em função da diminuição do teor de H_2O_2 e indica a importância na defesa de tecidos fotossíntético contra o estresse fotoxidativo para as plântulas de girassol (CONCEIÇÃO, 2015).

Quanto à atividade de catalase (Figura 2B), na condição controle (0 mM de NaCl) o tratamento suplementado com *Salvinia auriculata* apresentou acréscimo de 340 e 164% em relação à areia e ao húmus, respectivamente. Quanto à condição de 50 mM de NaCl e 100 mM

de NaCl, não houve diferença estatística entre os tratamentos quanto ao tipo de substrato. Na condição de estresse salino a 100 mM de NaCl, observou-se que não houve atividade da CAT no tratamento com *Salvinia auriculata.*

A atividade da CAT é mais efetiva em altas concentrações de H_2O_2 (DUBEY, 2011). A redução da atividade da catalase pode indicar que, sob condições de estresse, o H_2O_2 produzido pelas plantas pode ser mais consumido em processos oxidativos, como na peroxidação de lipídeos, do que eliminado do metabolismo pela ação da enzima catalase (CARMAK; HORST, 1991), deduzindo, dessa forma, inibição da atividade da enzima devido ao estresse salino. Outra hipótese é a possivel inibição do ferro na atuação do complexo enzimático da catalase, pois o ferro é um dos principais coadjuvantes na composição da enzima (HALLIWELL, 1989) e foi encontrado em alta concentração no substrato de macrófita (tabela 1).

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 sob condições controle e estresse salino. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$).



A atividade da enzima GPX foi maior no tratamento com *Salvinia auriculata* à 100 mM

de NaCl (Figura 2C), e se diferiu do húmus e areia com aumento respectivo de 32% e 30%. Na condição controle (0 mM de NaCl) o tratamento suplementado com *Salvinia auriculata* apresentou acréscimo de 1.093 e 746% em relação a área e ao húmus, respectivamente. Na condição de 50 mM de NaCl os substratos não se diferiram entre si.

As atividades da SOD nas folhas (Figura 2D) não houve diferenciação estatística nos tratamentos suplementados com húmus e *Salvinia auriculata,* contudo as plântulas suplementadas com *Salvinia auriculata* à 50 mM de NaCl apresentaram a maior atividade enzimática de SOD. Quanto à condição de 50 mM de NaCl, o tratamento com *Salvinia auriculata* não se diferenciou estatisticamente do húmus e teve acréscimo de 90% em relação de tratamento com área. À 100 mM de NaCl, o tratamento com *Salvinia auriculata* não demonstrou diferenciação estatística em relação ao húmus e houve acréscimo de 39% em relação à areia.

Os resultados corraboram com Nimir *et al.* (2015), Lima (2016) e Shetlwy *et al.* (2018) em que analisando as atividades das enzimas SOD em outros cultivos, observaram maior atividade da SOD com o incremento da salinidade, em comparação as plantas controle.

Os resultados demonstram que, com exceção da enzima CAT, a suplementação com *Salvinia auriculata* ocasionou maiores atividades de APX, GPX e SOD nas folhas, em especial na condição de estresse salino à 100 mM de NaCl. Dentre as enzimas avaliadas nas folhas, a suplementação com *Salvinia auriculata* promoveu aumentos relevantes na atividade da APX e GPX a 100 mM de NaCl, em que foram verificadas atividades na ordem de 20 µmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF e 2 µmol H_2O_2 min^{-1} g^{-1} MF, respectivamente.

Assim, as plântulas de girassol com tal suplementação apresentaram melhores respostas de defesa ao estresse. Sugere-se que o sistema enzimático antioxidantivo tenha se tornado mais eficiente à medida que o estresse se agravava, demonstrando maior eliminação de peróxido de hidrogênio, nas folhas, nas plântulas fertilizadas com *Salvinia auriculata*.

Atividade enzimática nas raízes

De acordo com a análise de variância (tabela 4) verificou-se que houve efeito

significativo no parâmetro das atividades das enzimas APX e CAT em raízes nos fatores Substrato (S) e Níveis de Sal (NS) e na interação (S x NS). Para as atividades das enzimas GPX somente a interação (S x NS) não foi significativa ao nível de ($p < 0,05$) e para as atividades das enzimas SOD nenhum dos fatores e a interação demonstraram diferença estatística.

Tabela 4. Resumo das análises de variância das atividades das enzimas peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX) e superóxido dismutase (SOD) em raízes de plântulas de girassol em diferentes substratos (areia; areia + húmus comercial 80 kg N ha^{-1}; areia + *Salvinia auriculata* 120 kg N ha^{-1}) sob condições controle e estresse salino (0, 50 e 100 mM de NaCl).

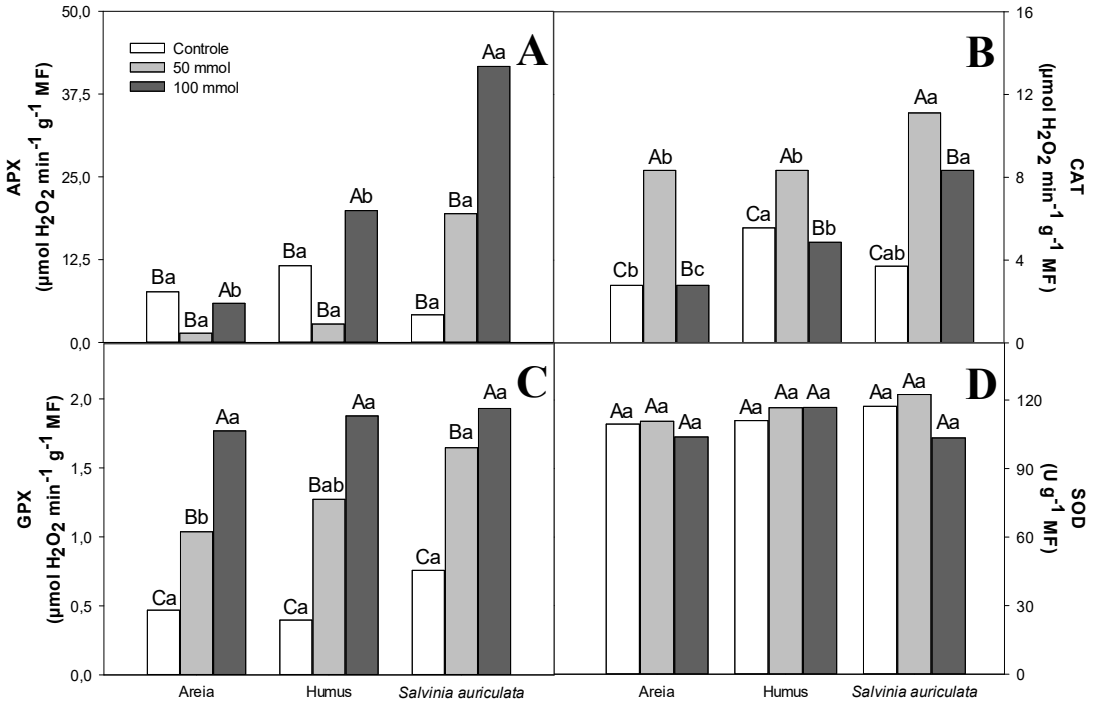
		Quadrado Médio			
Fonte de Variação	GL	APX	CAT	GPX	SOD
Substrato (S)	2	1074,9482**	35,7449**	0,5056**	217,6081^{ns}
Níveis_Sal (NS)	2	1074,4547**	111,8188**	6,5777**	276,8668^{ns}
S x NS	4	560,9596**	13,2444**	0,0913^{ns}	163,2317^{ns}
Erro	32	186,5611	1,7857	0,1274	140,9504
Total Corrigido	44	-	-	-	-
CV (%)	-	107,40	21,56	28,79	10,56

GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ** – significativo à $p \leq 0.05$; ^{ns} – não significativo.

De modo geral, observou-se na figura 3, que a aplicação do substrato *Salvinia auriculata* modulou diferencialmente para a atividade das enzimas antioxidativas CAT e SOD pelo NaCl nas raízes das plântulas de girassol.

Para atividade da enzima APX (Figura 3A) houve diferença estatística da condição de 100 mM de NaCl em relação ao demais tipos de irrigação, porém a condição de 0 e 50 mM de NaCl não se diferenciaram estatisticamente entre si. Na condição controle (0 mM de NaCl) e na condição de 50 mM de NaCl, não houve diferença estatística entre os substratos. Já para a condição de 100 mM de NaCl, houve acréscimos do tratamento com *Salvinia auriculata* de 606 e 109% em relação à areia e ao húmus comercial, respectivamente.

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 sob condições controle e estresse salino. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (0, 50 e 100 mM de NaCl), enquanto diferentes 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 ($P \leq 0,05$).



Quanto à atividade de catalase (Figura 3B), a condição de irrigação que proporcionou maior atividade enzimática foi à 50 mM de NaCl. Junior *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2018) reportam um aumento para a atividade das enzimas CAT sob condições de estresses abióticos. Na condição controle (0 mM de NaCl) o tratamento com húmus se sobressaiu aos demais. Para a condição de 50 mM de NaCl, o tratamento com *Salvinia auriculata* se diferenciou estatisticamente dos demais, com incremento de 33% em relação a areia e ao húmus. Já à 100 mM de NaCl, diferentemente do comportamento nas folhas, a atividade da CAT foi melhor expressa no tratamento com *Salvinia auriculata,* este se diferenciou dos tratamentos com areia e húmus, e apresentou aumento de 200 e 72% em relação ao tratamento com areia e húmus, respectivamente.

A enzima GPX (Figura 3C) apresentou maior atividade na condição de irrigação a 100 mM de NaCl, entretanto, os substratos não diferiram entre si. Na condição a 50 mM de NaCl o tratamento suplementado com *Salvinia auriculata* apresentou acréscimo de 59% e 29% em relação à área e ao húmus comercial, respectivamente. A condição controle expressou as menores atividades de GPX e sem diferenciação estatística entre os substratos.

Embora o aumento da concentração de NaCl tenha aumentado progressivamente a atividade de APX, GPX e CAT, a atividade da SOD nas raízes se apresentaou relativamente constante, na ordem de 110 U MF/g, sem diferenciação estatística entre os tratamentos (Figura 3D). Isso pode ser justificado devido à SOD ser considerada a primeira enzima envolvida no sistema de defesa das plantas (GONÇALVES, 2017) que catalisa a conversão de O_2^{-}/$^{\bullet}HO_2$ a H_2O_2 numa velocidade 10^{10} vezes mais rápida do que a da dismutação espontânea (DALLAGNOL, 2018), estimulando a ação das demais enzimas analisadas.

Considerações finais no crescimento e na atividade enzimática

Muitos estudos têm retratado o papel dos mecanismos antioxidantes enzimáticos na proteção contra o estresse oxidativo secundário induzido pela salinidade (JUNIOR *et al.*, 2017; DIAS *et al*., 2018; OLIVEIRA *et al*., 2019; JUNIOR *et al*., 2020).

As adubações nitrogenadas têm apresentado resultados atenuantes ao efeito da salinidade (SOUZA *et al*., 2017). Assim, acredita-se que o fornecimento de nutrientes a partir da suplementação com *Salvinia auriculata* tenha ocasionado maior produção de massa seca assim como a ativação do sistema de defesa antioxidativo das plântulas de girassol. Adicionalmente, por tratar de uma adubação orgânica, promoveu incremento no crescimento das plantas e maior tolerância ao estresse salino (VIMAL *et al*., 2017).

A cultura do girassol tem demonstrado tolerância à salinidade da água de irrigação com limiar de água com CE de até 3,53 dS m^{-1} durante todo o ciclo (MORAIS, 2011). Verificou-se que a concentração externa de NaCl igual ou superior a 50 mM pode induzir toxicidade iônica às plântulas de girassol no decorrer do tempo de exposição, corroborando com grande parte das pesquisas publicadas na literatura que reportam que concentrações salinas entre 30-50 dS m^{-1} e 30-90 mM de NaCl tem afetado negativamente o desenvolvimento de diversas espécies de plantas (OLIVEIRA *et al.* 2019).

Diante dos aumentos positivos da produção de massa seca e das atividades antioxidativas observados nas raízes e folhas das plântulas suplementadas com *Salvinia auriculata* é notório que os aumentos nas atividades antioxidativas tenham contribuído para

minimizar os efeitos deletérios do estresse salino no crescimento das plântulas de girassol.

CONCLUSÃO

Verificou-se que o aumento gradativo das concentrações de NaCl provocou maiores descréscimo na produção de massa seca. De modo geral, houve aumento nas atividades das enzimas antioxidativas, principalmente nas plantas que receberam suplementação *Salvinia auriculata*. Os dados demonstraram que a suplementação com *Salvinia auriculata* promoveu a minimização dos efeitos deletérios do estresse salino no crescimento vegetal.

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP pela concessão de bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, B. M.; VASCONCELOS, D. V.; BOMFIM, G. V.; VIANA, T. V. A.; NASCIMENTO NETO, J. R.; OLIVEIRA, K. M. A. S. Production and yield response factor of sunflower under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 427-433, 2016.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p. 276-287, 1971.

CARMAK, I.; HORST, W. J. Effect of Al lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glicine max L.*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagem, v. 834, p. 463-468, 1991.

CONCEIÇÃO, S. S. **Aclimatação de plantas de girassol à salinidade induzida por silício.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

COVA, A. M. W.; FREITAS, F. T. O.; VIANA, P. C.; RAFAEL, M. R. S.; AZEVEDO NETO,

A. D.; SOARES, T. M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, p.150-155, 2017.

DALLAGNOL, L. J. **Resistência genética: de plantas a patógenos**. – Pelotas: Ed. UFPel, 2018.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. A. da. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 220-234, 2018.

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. Enfield: Science Publishers, 2011. Chap.9, p.178-203.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivar de girassol BRS 323**. 2014.

FATMA, M.; ASGHER M.; MASOOD, A.; KHAN, N. A. Excess sulfur supplementation improves photosynthesis and growth in mustard under salt stress through increased production of glutathione. **Environmental and Experimental Botany**, Netherlands, v. 107, p. 55–63, 2014.

FERREIRA, D. F. **Sisvar.** Versão 5.6. Lavras, MG: UFLA/DEX, 2018.

FLOWERS, T.J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.396, p.307-319, 2004.

FILHO, P. G. C.; BUAINAIN, A. M.; BENATTI, G. S. de S. A cadeia produtiva agroindustrial do biodiesel no Brasil: um estudo sobre sua estrutura e caracterização. **Desenvolvimento Regional em debate.** v. 9, p. 772-799, 2019.

GOMES, K. R.; SOUSA, G. G. de; LIMA, F. A.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. de; SILVA, G. L. Irrigação com água salina na cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*) em solo com biofertilizante bovino. **Irriga**, v. 20, n. 4, p. 680-693, out./dez. 2015.

GONÇALVES, C. G. **Modificações morfológicas, fisiológicas e seletividade da soja a diferentes herbicidas em resposta ao estresse hídrico.** Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2017.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472p.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS, J. B.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS JUNIOR, J. A. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 514-527, jul./set. 2015.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; RAMOS, J. G.; LIMA, S. C.; CARDOSO, J. A. F.; MELO, D. F. Acúmulo de fitomassa de cultivares de alface hidropônica submetidas à salinidade. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada,** Fortaleza, v. 11, p. 2141 - 2151, 2017.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v.57, n.2, p.315-319, 1976. http://dx.doi.org/10.1104/pp.57.2.315.

JARDINI, D.C.; SCARAMUZZA, W.L.M.P.; WEBER, O.L.S.; BORBA FILHO, A.B. e FERNANDES, D.A. Absorção de nutrientes em genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 44, n. 4, p. 434-442, 2014.

JUNIOR, F. B. da S.; SOUSA, G. G de, SOUSA, J. T. M. de; LESSA, C. I. N., SILVA, F. D. B. da. Salt stress and ambience on the production of watermelon seedlings. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 518 – 528, abr. – jun., 2020.

JUNIOR, F. H. N.; 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.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in Biology and Medicine.** Oxford: Clarendon Press, p.543, 1989.

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.

LEONARDO, M.; BROETTO, F.; VILLAS-BÔAS, R. L.; ALMEIDA, R. S.; MARCHESE, J. A. Produção de frutos de pimentão em diferentes concentrações salinas. **Irriga,** v.12, p.73-77, 2007.

LIMA, N. da S.; MORAIS, M. B.; FRANÇA e SILVA, Ê. F.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. Production and antioxidative metabolism in bell pepper grown with saline water in hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, p.675-680, 2017.

LIMA, N. da S. **Cultivo de pimentão em sistema hidropônico sob estresse salino.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 1.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MORAES, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. H.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.327-336, 2011.

MORAIS, Francisco Alexandre de *et al.* Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 327-336, June, 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-69201100020010&lng=en&nrm=iso>. Access on 19 nov. 2020.

MORAES, D. P.; FERNANDES, A. L. M.; DIAS, N. da S.; COSME, C. R.; SOUZA NETO, O. N. Rejeito salino e solução nutritiva em alface cultivada em sistema hidropônico. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, v. 26, p. 353-360, 2014.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinash chloroplasts. **Plant & Cell Physiology**, v. 22, n.5, p. 867-880, 1981.

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S. M.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of

plants to salinity stress. **Annals of Botany**, United Kingdom, v. 119, p. 1–11, 2017.

NIMIR, N.; ZHOU, G. GUOA, W.; MAC, B.; WANGD, Y. Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses. **Crop & Pasture Science**, v. 66, p. 145–157, 2015.

OLIVEIRA, H. M.; OLIVEIRA, J. L. S.; SILVA E. Estresse salino no crescimento e desenvolvimento inicial de espécies vegetais. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n.3, 2019.

PACHECO, A. G. **Germinação e crescimento inicial de girassol (*Helianthus annuus*) sob diferentes substratos submetidos a estresse salino.** Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2019.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros / Marcelo Pompêo.** -- São Paulo; Instituto de Biociências da USP, 2017.

RIBEIRO, P. H. P.; GHEYI, H. R.; UYEDA, C. A.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; DIAS, N. S. Growth rates and production of sunflower irrigated with saline water and nitrogen doses. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 233-247, 2016.

SANTOS JÚNIOR, J. A., GHEYI, H. R., GUEDES FILHO, D. H., DIAS, N. S. & SOARES, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

SOUSA, F. J. B. de. **Desenvolvimento do girassol ornamental (*Helianthus annuus* cultivar anão de jardim) em substrato com hidrogel irrigado com água salina.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.

SOUZA, S. P.; SEABRA, J. E. A.; NOGUEIRA, L. A. H. Feedstocks for biodiesel production: brazilian and global perspectives**. Biofuel**, v. 9, n. 4, p. 455–478, 2017.

SOUZA, L. H. B., PEIXOTO, C. P., SILVEIRA, P. S., LEDO, C. A. S., LIMA, V. P., SANTOS, A. P. S. G. Características agronômicas e rendimento de girassol em diferentes

épocas de semeadura e populações de plantas no recôncavo da Bahia. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 90-100, 2014.

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.

SILVA, P. V. S. R; NASCIMENTO, P. dos S. Soil salinity and sunflower development under irrigation with water of different quality. **Gesta**, v. 7, n. 2, p. 255-269, 2019.

SILVA, J. R. I; JARDIM, A. L. DA R. F.; NETO, J. B.; LEITE, M. L. DE M. V.; TEIXEIRA, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.3, p.127-139, sep-dec., 2018.

SILVA, H. H. B. **Uso do peróxido de hidrogênio na aclimatação do manjericão ao estresse salino.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2017.

SHETLWY, H.; AN, J.; YIN, M.; JIA, X. Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of Oryza sativa seedlings. **Protoplasma**, v. 256, n. 1, p.1-20, 2018.

TRAVASSOS, K. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; BARROS, H. M. M.; DIAS, N. da S.; UYEDA, C. A.; da SILVA, F. V. Development of different varieties of sunflower irrigated with saline water. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 324 - 339, 2012.

VIMAL, S. R. *et al*. Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture Management: A Review. **Pedosphere: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 177-192, 2017.

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. **Geoderma**, v.310, p.1-11, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da pesquisa realizada nos três artigos supracitados, a partir da identificação de espécies de macrófitas buscou-se analisar a viabilidade das espécies em detrimento do aproveitamento orgânico para nutrição e crescimento do girassol sob condições de estresse hídrico ou salino. Contudo, como toda pesquisa pode ser aprimorada ou dar surgimento à outra, foram elencados alguns pontos e oportunidades, de modo a aprofundar outras vertentes e temáticas correlatas não contempladas nessa pesquisa, tendo em vista que o conhecimento é uma faceta multidisciplinar. Destacam-se:

Um dos ensejos é a ampliação da pesquisa com a identificação de outras espécies de macrófitas na lagoa ou região. Essa pesquisa pode ser agregada ao levantamento do quantitativo de macrófitas geradas no município ou região, de forma a melhor justificar a importância da reutilização, da destinação e disposição desses resíduos.

Aprofundar os efeitos fisiológicos e bioquímicos em plantas oleaginosas em virtude da bioacumulação de metais, dos organismos patogênicos e da composição nutricional das macrófitas, aprimorando os estudos sobre a tolerância de culturas aos efeitos da adubação nitrogenada sob condições de estresses abióticos.

Apesar do NaCl ser o sal mais abundante na solução do solo, recomenda-se que pesquisas futuras retratem a interação com outros elementos presentes na natureza da água salina, como Mg e Ca, expressando um comportamento mais real dos vegetais e ampliando a compreensão das suas limitações.

6. ANEXOS

Carta de aceite do artigo do Capítulo I

15/12/2020 Yahoo Mail - [RBA] Decisão editorial

[RBA] Decisão editorial

De: Leonardo Felipe Faedo (revistaabacontato@gmail.com)

Para: janacinta.nogueira@gmail.com; paulobatistaengenharia@gmail.com; gabrieladesousaf@hotmail.com; icaroaderaldo16@gmail.com; aragaofg@yahoo.com.br

Data: segunda-feira, 14 de dezembro de 2020 19:15 BRT

Caríssimos, JANACINTA NOGUEIRA DE SOUZA, Paulo Ovídio Batista de Brito, Gabriela de Sousa Ferreira, Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo, Franklin Aragão Gondim:

Espero sinceramente que todos estejam bem e com saúde. Parabéns pelo artigo, vocês fizeram um bom trabalho.

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à Revista Brasileira de Agroecologia, " MACRÓFITAS COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL".
A decisão é: ACEITO MEDIANTE CORREÇÕES EFETUADAS

Votos sinceros de estima,

Ficamos a disposição para auxiliar.

Leonardo Felipe Faedo
faedo.leonardo@gmail.com

Prezados(as) autores(as), ao reenviar o artigo pós correções solicitadas, haverá **obrigatoriedade** de incluir uma **carta resposta** onde deverá constar comentários do que foi revisado no artigo referindo-se aos parágrafos e páginas onde a alteração ocorreu, utilizando-se destaque para tal. O artigo deverá ser alterado utilizando-se a ferramenta "controle de alterações" para que fique explicito ao(a) editor(a) as alterações realizadas. Caso não esteja de acordo e não realize alguma alteração solicitada, tal fato deverá ser justificado. O artigo alterado deverá ser incluído no mesmo código de submissão anterior, dando sequencia ao histórico e não iniciando uma nova submissão.

Atenção, o artigo deverá retornar no prazo máximo estipulado no sistema RBA.

Revista Brasileira de Agroecologia (RBA)
http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia

1/1

Carta de aceite do artigo do Capítulo II

Gmail Janacinta Nogueira <janacinta.nogueira@gmail.com>

[RVADS] Decisão editorial

1 mensagem

ValÃ©ria Fernandes de Oliveira Sousa <valeriafernandesbds@gmail.com> 27 de janeiro de 2021 09:16
Para: "Dr. Franklin Aragão Gondim" <aragaofg@yahoo.com.br>
Cc: Janacinta Nogueira de Souza <janacinta.nogueira@gmail.com>, Paulo Ovídio Batista de Brito <paulobatistaengenharia@gmail.com>, Gabriela de Sousa Ferreira <gabrieladesousaf@hotmail.com>, Julyanne Fonteles de Arruda <julyannefarruda@yahoo.com.br>, Lígia Queiroz Matias <lqmatias@ufc.br>

Dr. Franklin Aragão Gondim:

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido a Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, "Crescimento inicial e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com Salvinia auriculata e submetidas a estresse hídrico".

A decisão é: Revisões necessárias.

O prazo para enviar o artigo corrigido será até 27/02/2021, caso não faça as correções conforme a solicitação dos revisores até essa data, o artigo será arquivado.

Segue comentário dos avaliadores e arquivo em anexo com sugestões para correção.

Valéria Fernandes de Oliveira Sousa
Universidade Federal da Paraíba
valeriafernandesbds@gmail.com

Avaliador A:

Prezada editora,

O artigo em questão possui relevância científica. No entanto, para que seja aceito para publicação nesta revista será necessário por parte dos autores grandes modificações em diversas partes do manuscrito. No arquivo em anexo estão as minhas sugestões/correções necessárias.

Minha decisão no momento é: Correção obrigatórias.

Avaliador B:

O trabalho apresenta uma boa temática, os autores desenvolveram uma escrita agradável a leitura, também apresenta citações atuais e boa discussão.

Avaliador C:

O conteúdo estar bom, necessitando apenas de algumas correções.

Carta de submissão do artigo do Capítulo III

Gmail Janacinta Nogueira <janacinta.nogueira@gmail.com>

Fw: [RCA] Agradecimento pela Submissão

1 mensagem

Franklin Aragão <aragaofg@yahoo.com.br> 12 de janeiro de 2021 13:41
Para: Janacinta Nogueira <janacinta.nogueira@gmail.com>

FRANKLIN ARAGÃO GONDIM
BIÓLOGO, MESTRE E DOUTOR EM BIOQUÍMICA
PROFESSOR DO IFCE CAMPUS MARACANAÚ

http://lattes.cnpq.br/4207075808724945

---- Mensagem encaminhada ----
De: Alek Sandro Dutra <ccarev@ufc.br>
Para: Dr. Franklin Aragão Gondim <aragaofg@yahoo.com.br>
Enviado: terça-feira, 12 de janeiro de 2021 13:37:33 BRT
Assunto: [RCA] Agradecimento pela Submissão

Dr. Franklin Aragão Gondim,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "Produção de matéria seca e atividade enzimática antioxidativa de plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com Salvinia auriculata" para Revista Ciência Agronômica. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastanto logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:
http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/author/submission/7812
Login: aragaofg

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Alek Sandro Dutra
Revista Ciência Agronômica

Revista Ciência Agronômica
http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista