



Crescimento inicial de girassol sob déficit hídrico com bioinsumo de macrófitas aquáticas

Initial growth of sunflower under water deficit with bioinputs from aquatic macrophytes

Rifandreo Monteiro Barbosa¹, Elias do Nascimento de Sousa Filho¹, Tiago de Abreu Lima¹,
 Vivian dos Santos Abreu¹, Stelamaris de Oliveira Paula Marinho¹, Franklin Aragão
Gondim¹

RESUMO

As regiões do semiárido brasileiro apresentam baixa disponibilidade hídrica, além de solos rasos e pobres em matéria orgânica, o que afeta o desenvolvimento da produção agrícola. Ademais, os corpos hídricos existentes nessas regiões têm apresentado elevados níveis de eutrofização, e consequentemente, crescimento desordenado de macrófitas aquáticas. Diante do exposto, o trabalho analisou os efeitos da aplicação de resíduos de macrófitas aquáticas coletadas na Lagoa da Precabura, localizada entre os municípios de Fortaleza e Eusébio – CE, em plantas de *Helianthus annuus* L sob déficit hídrico, avaliando variáveis de crescimento: altura (AP), diâmetro (DC), número de folhas (NF), teores relativos de clorofila (TRC), índice de tolerância a seca (ITS) e produção de massa fresca. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 2 x 4, sendo dois tratamentos hídricos (com irrigação e sem irrigação) e quatro tipos de substratos: 1) 100% em volume de areia (ausência de fertilizante); 2) NPK na formulação 10:10:10 (seguindo-se recomendação da cultura de 80kg de N ha⁻¹); 3) *Neptunia* a 160kg de N ha⁻¹ e 4) ROMM a 160kg de N ha⁻¹. Aos 33 dias após semeadura, a suplementação com *Neptunia* proporcionou maiores incrementos na AP, NF, TRC e massa fresca da raiz, além de um melhor ITS em ambas as condições hídricas, indicando que o aporte nutricional da *Neptunia* atenuou significativamente os efeitos deletérios do estresse hídrico. Conclui-se que o uso de macrófitas como bioinsumo é uma alternativa sustentável para o manejo de resíduos aquáticos e para o fortalecimento da resiliência hídrica.

Palavras-chave: *Neptunia oleracea* Lour; Adubação nitrogenada; Eutrofização.

ABSTRACT

Brazilian semi-arid regions present low water availability, in addition to shallow soils poor in organic matter, which affects the development of agricultural production. Furthermore, the water bodies in these regions have exhibited elevated levels of eutrophication, leading to uncontrolled growth of aquatic macrophytes. Given these circumstances, this study analyzed the effects of applying aquatic macrophyte residues collected from Lagoa da Precabura, located between the municipalities of Fortaleza and Eusébio, Ceará, on *Helianthus annuus* L. plants under water deficit, evaluating growth variables: plant height (PH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), relative chlorophyll content (RCC), drought tolerance index (DTI), and fresh mass production. The experimental design was completely randomized, arranged in a 2 x 4 factorial layout, with two water treatments (with irrigation and without irrigation) and four types of substrates: 1) 100% sand by volume (no fertilizer); 2) NPK in a 10:10:10 formulation (following the crop recommendation of 80 kg N ha⁻¹); 3) *Neptunia* at 160 kg N ha⁻¹; and 4) ROMM at 160 kg N ha⁻¹. At 33 days after sowing, supplementation with *Neptunia* resulted in greater increases in AP, NF, TRC, and root fresh mass, as well as improved ITS under both water conditions, indicating that the nutritional contribution of *Neptunia* significantly attenuated the deleterious effects of water stress. It is concluded that the use of macrophytes as a bioinputs is a sustainable alternative for the management of aquatic waste and for strengthening water resilience.

Keywords: *Neptunia oleracea* Lour; Nitrogen fertilization; Eutrophication.

¹ Instituto Federal do Ceará (IFCE), Maracanaú (CE), Brasil.

Autor correspondente Franklin Aragão Godim: aragaofg@yahoo.com.br

Recebido em: 12/04/2024. Aceito em: 04/05/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado. 

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos representam um dos pilares fundamentais para a manutenção da vida e o desenvolvimento socioeconômico, sendo indispensáveis tanto para o crescimento da vegetação quanto para a exploração sustentável de recursos naturais. Todavia, a escassez hídrica tem imposto desafios crescentes à agricultura, manifestando-se frequentemente na forma de déficit hídrico nas plantações (Dong *et al.*, 2021). Este fenômeno é particularmente crítico em regiões áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro, onde o rendimento das culturas é severamente limitado por baixos índices de precipitação, altas taxas de evapotranspiração e solos quimicamente pobres, somado às limitações climáticas e pedológicas, os ecossistemas de água doce dessas regiões enfrentam pressões antrópicas crescentes (Niu *et al.*, 2017; Lucena *et al.*, 2021; Paula *et al.*, 2020).

Sob condições de estresse hídrico decorrentes desses ambientes degradados ou climas áridos, as plantas ativam estratégias de sobrevivência, como o ajustamento osmótico celular, visando reduzir a perda de água (BATISTA *et al.*, 2020). Esses mecanismos de tolerância permitem a manutenção do metabolismo mesmo sob potenciais hídricos reduzidos nos tecidos (CRUZ, 2023). Nesse contexto, a busca por atenuadores de estresse torna-se fundamental, e Costa *et al.* (2019) observaram que uma adubação orgânica eficiente pode representar uma alternativa viável para a remediação dessas condições adversas.

Um exemplo paradigmático desse processo de degradação ambiental foi documentado por Silva (2019) na Lagoa da Precabura, ecossistema situado na zona limítrofe entre os municípios de Fortaleza e Eusébio, Ceará, que constitui o objeto desta pesquisa. Os registros indicam que a percepção ambiental dos residentes locais no período de 2015 a 2019 aponta para o agravamento da carga poluidora e adicionalmente, o crescimento desordenado de macrófitas aquáticas. Tal cenário corrobora a tese de Poveda (2022), ao demonstrar como o aumento da eutrofização proveniente do escoamento de resíduos agrícolas, industriais e urbanos rompe o equilíbrio de ambientes lacustres e favorece o estabelecimento agressivo dessas plantas invasoras.

Nesta perspectiva, as macrófitas aquáticas, embora muitas vezes vistas como um problema ambiental, surgem como um recurso biotecnológico valioso. Além de atuarem como bioindicadores, sua biomassa apresenta elevado potencial para processos de fitorremediação, produção de biogás e, especialmente, como fertilizantes orgânicos (POMPEU, 2017; BARBOSA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2021). Essas plantas desempenham um papel crucial na ciclagem de nutrientes e no acúmulo de metais pesados, contribuindo para o equilíbrio ecológico quando manejadas adequadamente (HAROON, 2020).

Dentre as culturas com potencial de resposta a esses bioinsumos, o girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se por sua elevada capacidade de aclimação a diferentes

solos e climas (ADELEKE; BABALOLA, 2020). A cultura possui ampla relevância no agronegócio brasileiro devido à sua versatilidade na produção de óleos, proteínas e energias renováveis (DE OLIVEIRA *et al.*, 2022), apresentando uma tolerância de moderada a alta à seca (MILA *et al.*, 2017). Segundo Amaral *et al.* (2021), o entendimento detalhado de seu comportamento fisiológico é imprescindível para compreender como os estresses abióticos influenciam seu crescimento e produtividade final.

Diante do exposto, e considerando a necessidade de conferir uma finalidade ambientalmente adequada à biomassa excedente de macrófitas, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do bioinsumo derivado de macrófitas da Lagoa da Precabura, Fortaleza – Ce, na atenuação dos efeitos deletérios da seca em plantas de girassol. Para tanto, analisaram-se variáveis morfofisiológicas como altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), teores de clorofila (TRC), além da produção de matérias frescas da parte aérea, raiz e total, bem como o índice de tolerância a seca (ITS), visando elucidar a eficácia desta alternativa orgânica frente ao estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* Maracanaú, Ceará, Brasil, localizado na zona 24 S 543134.88 m E e 9571988.43 m S, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2024. Na composição dos substratos, foram utilizadas amostras de macrófitas aquáticas coletadas na Lagoa da Precabura, localizada entre os municípios de Fortaleza e Eusébio, Ceará, Brasil. Ao todo, foram escolhidos dez pontos de coleta, conforme mostrado na Figura 1.

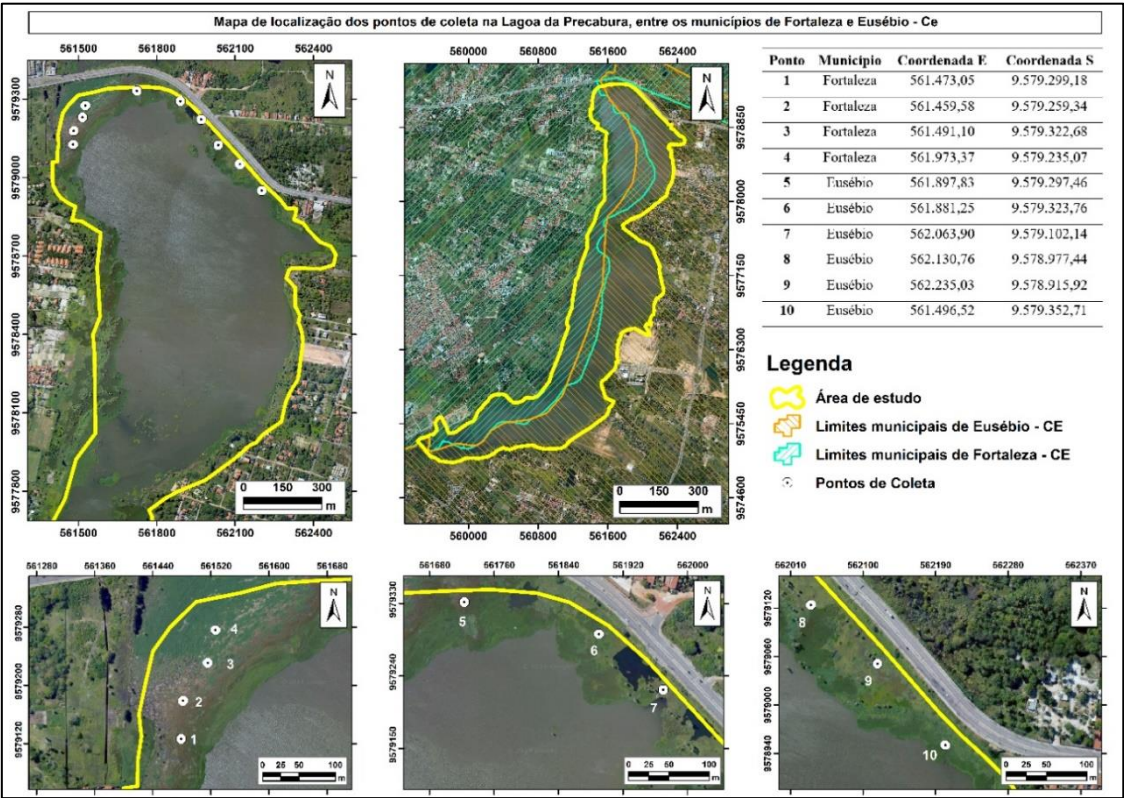


Figura 1. Pontos de coleta na Lagoa da Precabura, Fortaleza e Eusébio – CE. Foram definidos dez pontos de amostragem, identificados de P01a P10, da esquerda para a direita.

Fonte: Autores (2024).

O material coletado na lagoa foi disposto para secagem em lonas pretas, a sol pleno, por 20 dias. Após esse período, a secagem foi concluída em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, por 24 horas. No material coletado, quatro espécies foram identificadas a partir de exsicatas enviadas ao Herbário da Universidade Federal do Ceará – UFC, consultadas na plataforma *SpeciesLink*. As espécies identificadas e seus respectivos números de registro do herbário foram: *Salvinia auriculata* (62236), *Pistia stratiotes* (49794), *Neptunia oleracea* Lour (38200) e *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (49095).

Com base nessa caracterização botânica, o material vegetal foi triturado para a formulação de dois bioinsumos distintos. O primeiro, denominado Resíduo Orgânico Misto de Macrófitas (ROMM), consistiu em um *mix* das quatro espécies identificadas, preparadas em proporções equitativas de 25 gramas para cada uma, em um recipiente de 100 g. O segundo bioinsumo foi composto exclusivamente pela espécie *Neptunia oleracea*. A escolha por isolar a *N. oleracea* como um tratamento específico justifica-se pela escassez de registros na literatura científica acerca de seu potencial biotecnológico, especialmente no que tange à mitigação dos efeitos do déficit hídrico no cultivo de plantas.

O nitrogênio (N) foi selecionado como parâmetro para o cálculo da capacidade de produção orgânica, fundamentando-se em evidências de que este nutriente é o principal limitante da produção primária em escala de ecossistema. Conforme demonstrado por Andersen *et al.* (2025), mesmo em ambientes eutróficos, a fixação biológica de N₂ frequentemente é insuficiente para compensar a escassez de nitrogênio reativo, o que restringe a produtividade caso não haja suplementação. Para a determinação dos teores de N total nos dois bioinsumos testados, utilizou-se a metodologia proposta por Malavolta (1997). As análises revelaram concentrações de 56,90 g kg⁻¹ de N para a *Neptunia oleracea* e 64,75 g kg⁻¹ de N para o Resíduo Orgânico Misto de Macrófitas (ROMM).

Para avaliar o desempenho das plantas sob déficit hídrico, foram usadas sementes de girassol (*Helianthus annuus*), cultivar BRS 323, cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) do escritório Londrina-PR. A semeadura foi feita em vasos plásticos com capacidade de 5 litros, preenchidos com substrato de areia de granulometria fina, sendo semeadas cinco sementes por vaso. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 4, composto por dois tratamentos hídricos (com irrigação e déficit hídrico) e quatro tipos de substratos: 1) substrato sem fertilizante (controle); 2) substrato com NPK na formulação 10:10:10, seguindo-se recomendação da cultura de 80kg de N ha⁻¹; 3) substrato com *N. oleracea* a 160 kg de N ha⁻¹; 4) substrato com ROMM a 160 kg de N ha⁻¹.

Os vasos de 5 litros foram irrigados diariamente, mantendo 70% da capacidade de campo, trazendo uma zona de conforto hídrico, deixando 30% de espaço poroso essencial para a respiração radicular e atividade microbiana, conforme observado por

Glinski, J. & Stepniewski, W. (2018). O desbaste foi realizado aos 7 dias após a semeadura (DAS), permanecendo duas plantas por vaso. Aos 27 DAS, iniciou-se o tratamento com déficit hídrico, com duração de seis dias, através da suspensão da irrigação de metade das plantas de cada um dos quatro de tratamentos, totalizando 7 repetições para cada condição avaliada.

Anterior a coleta do material vegetal, aos 33 DAS, foram realizadas avaliações de crescimento, sendo determinados os valores de altura da planta (AP), com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, aferindo-se da superfície do solo ao último nó; número de folhas (NF) por contagem manual; diâmetro do caule (DC), com a utilização de um paquímetro digital (Mitutoyo), verificando-se a partir de 3 cm acima do solo. A determinação dos teores relativos de clorofila (TRC) a partir da primeira folha completamente expandida a contar do ápice, com o auxílio do clorofilômetro (modelo Minolta SPAD – 502). Após coleta, o material foi higienizado, separado entre raízes, caules e folhas.

O material foi pesado em balança analítica (modelo Marte – BL3200H) para determinação da massa fresca das raízes (MFraíz), da parte aérea (folhas + pecíolos + caule) (MFPA) e a massa fresca total (parte aérea + raízes) (MFtotal). Em seguida, o material vegetal (folhas + caule + raízes) foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72h, para obtenção da massa seca total (MS_{total}), utilizada para determinação o índice de tolerância relativa ao estresse. Esse índice foi obtido por meio da comparação da MS_{total} das plantas submetidas ao estresse hídrico e a MS_{total} das plantas irrigadas, de acordo com metodologia descrita por Silva *et al.* (2023).

Os dados da coleta foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR 5.8. Os gráficos foram elaborados através do software SigmaPlot 14.0.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Aos 33 dias após a semeadura (DAS), verificou-se que os tratamentos suplementados com macrófitas aquáticas promoveram maior crescimento das plantas de girassol, tanto nas condições controle (Figura 2A) como sob déficit hídrico (Figura 2B), quando comparados ao tratamento controle (ausência de fertilizante). De modo geral, a suspensão da irrigação causou reduções nos parâmetros morfológicos. O tratamento contendo *Neptunia* 160 kg N ha⁻¹ destacou-se em relação aos demais tratamentos por apresentar os melhores resultados para as variáveis altura de planta (AP), número de folhas (NF) e teores relativos de clorofila (TRC). Adicionalmente, a adubação com NPK promoveu maiores valores de diâmetro do caule quando comparado aos demais tratamentos, nas duas condições de irrigação.

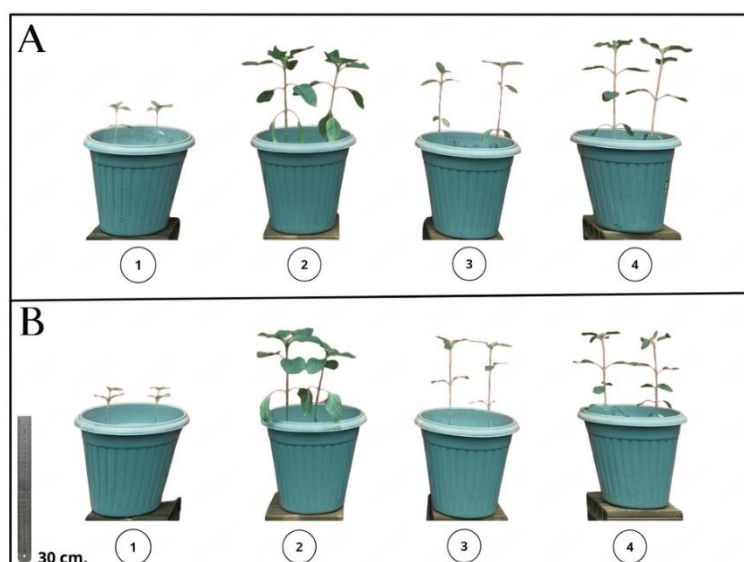


Figura 2. Plantas de girassol, cv. BRS 323, aos 33 dias após a semeadura (DAS), submetidas aos tratamentos: (1) sem adubação (controle); (2) fertilizante NPK (80 kg N ha^{-1}); (3) resíduo orgânico misto de macrófita aquáticas – ROMM (160 kg N ha^{-1}); e (4) macrófita *Neptunia oleracea* (160 kg N ha^{-1}) nas condições de plena irrigação (A) e sob déficit hídrico (seis dias de suspensão da irrigação) (B).
Fonte: Autores (2024).

Em condições de irrigação plena, aos 33 DAS, o tratamento *Neptunia* a 160 kg N ha^{-1} promoveu maior altura da planta (AP) quando comparados aos demais tratamentos (Figura 3A), apresentando a média superior ao controle e ao NPK em 90,6% e 7,7%, respectivamente. Nas condições de déficit hídrico (EH), observaram-se reduções nessa variável em todos os tratamentos, todavia, os maiores valores foram registrados nas plantas tratadas com *Neptunia* a 160 kg N ha^{-1} , com uma média de 25,4 cm.

Em relação ao diâmetro do caule (DC), aos 33 DAS, o grupo de plantas suplementado com NPK apresentou maiores valores quando comparados aos demais tratamentos, tanto nas condições de plena irrigação quanto no estresse hídrico, com médias de 6,18mm e 5,42mm, respectivamente (Figura 3C). Destaca-se que o tratamento *Neptunia* a 160 kg N ha^{-1} apresentou desempenho superior ao tratamento ROMM (160 kg N ha^{-1}) nas duas condições de irrigação empregadas, obtendo as médias de 4,01 mm e 3,66 mm para plantas irrigadas e estressadas, respectivamente. Entretanto, quando comparado ao tratamento NPK, o grupo *Neptunia* a 160 kg N ha^{-1} apresentou valores aproximadamente 54% inferiores para a variável DC. Resultados contrários foram relatados por Moreira *et al.* (2019), onde obtiveram melhores resultados de DC com a utilização de resíduo industrial de suplemento animal no cultivo de girassol, em comparação ao NPK.

Comportamento semelhante foi observado para variável número de folhas (NF), no qual os maiores valores foram obtidos nos grupos suplementados com *Neptunia* 160 kg N ha^{-1} , tanto na condição irrigada como sob EH (Figura 3B), com as médias de 10 e 9 folhas, respectivamente. Esses resultados, sob condições irrigadas, foram maiores que aqueles obtidos pelo grupo controle e NPK em 100 e 11,1%, respectivamente. Da mesma forma, sob estresse hídrico, foram superiores em 125 e 10,29%, respectivamente.

Os resultados da pesquisa de Hussain *et al.* (2025) revelaram que o estresse hídrico reduziu significativamente a AP (20,7%), o DC (25,6%) e o NF (29,2%) em plantas de girassol sob estresse hídrico. De Oliveira *et al.* (2025) observou incrementos significativos nas variáveis morfológicas de alface cultivadas com bioinsumo de macrófita (*Salvinia sp*) quando comparadas ao grupo esterco. Tais resultados reforçam a importância da introdução de bioinsumos alternativos que possam minimizar os efeitos do estresse hídrico e ainda aumentarem a produção.

Na condição controle, os teores relativos de clorofila (TRC), aos 33 DAS, apresentaram os maiores valores nos grupos suplementados com *Neptunia* 160 kg N ha⁻¹ e com NPK, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 3D). Sob condição de estresse hídrico, mesmo apresentando valores inferiores aos observados em plantas adubadas com fertilizante químico NPK, plantas adubadas com *Neptunia* a 160 kg N ha⁻¹ apresentaram maiores TRC em relação aos tratamentos com ROMM e sem fertilizante (Figura 3D). A manutenção de elevados índices de TRC em plantas suplementadas com macrófitas, mesmo sob restrição hídrica, indica que esses bioinsumos exercem um papel protetor sobre o aparelho fotossintético, minimizando a degradação pigmentar comumente associada ao estresse oxidativo causado pela seca. Resultados similares também foram observados por Brito *et al.* (2022) que relataram incrementos nos teores de clorofila em plantas de girassol suplementadas com resíduos de algas marinhas.

A espécie *Neptunia* a 160 kg N ha⁻¹, apresentou os melhores resultados nos parâmetros altura de planta, teores relativos de clorofila e número de folhas, tanto em condições controle quanto sob estresse hídrico. Essa superioridade em relação ao fertilizante mineral (NPK) demonstra que o nitrogênio de base orgânica, associado à presença de outros micronutrientes inerentes à biomassa da macrófita, promove um desenvolvimento vegetativo mais equilibrado e vigoroso para a cultura utilizada. Resultados semelhantes para cultura do girassol sob condições de estresse hídrico também foram relatados por Aderaldo *et al.* (2024), utilizando escama de tilápia, e por Barbosa *et al.* (2018), com o uso de macrófita da espécie *Eichhornia crassipes*

De modo geral, as plantas suplementadas com macrófitas aquáticas apresentaram resultados positivos dos parâmetros morfofisiológicos nas duas condições empregadas no cultivo de girassol, corroborando assim, com o estudo de Mateche *et al.* (2021) que observou a importância do uso de macrófitas aquáticas como biofertilizantes de modo a incentivar uma agricultura sustentável, em comparação aos métodos tradicionais de suplementação.

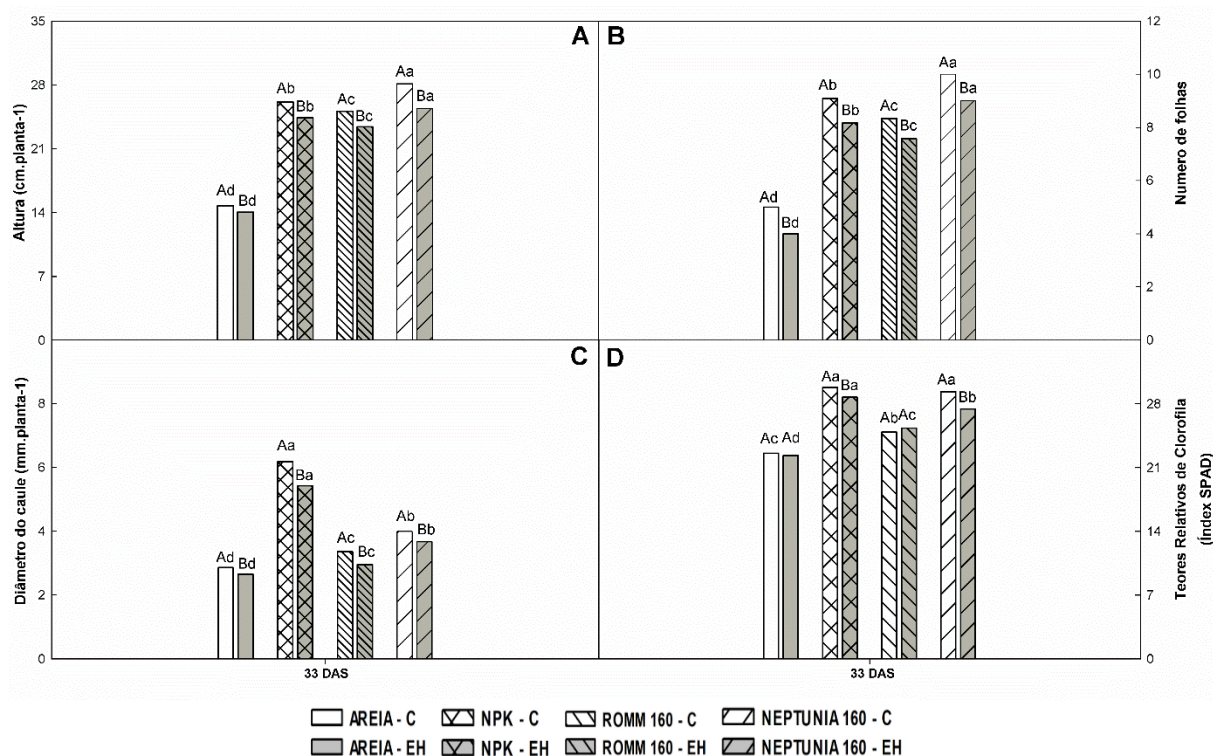


Figura 3. Altura da planta (A), número de folhas (B), diâmetro caulinar (C) e teores relativos de clorofila (D) de plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.), cv. BRS 323, aos 33 dias após a semeadura (DAS), submetidas aos tratamentos: sem adubação (apenas areia - controle), com NPK (80 kg N ha⁻¹), com *Neptunia* (160 kg N ha⁻¹) e com resíduo orgânico misto de macrófita aquáticas – ROMM (160 kg N ha⁻¹), nas condições de irrigação plena (colunas brancas) e sob déficit hídrico (colunas cinzas), com duração de 6 dias de suspensão de irrigação. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre regimes de irrigação dentro de um mesmo tratamento de adubação, enquanto letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos de adubação dentro de um mesmo regime de irrigação, de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fonte: Autores (2024).

Sob condições irrigadas, a massa fresca das raízes (MF_{raiz}), aos 33 DAS, foi significativamente maior no tratamento com *Neptunia* a 160 kg N ha⁻¹, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e apresentando média de 2,38 g, valor superior observado nos tratamentos com NPK e areia em 15,5 e 406,4%, respectivamente (Figura 4A). Resultados semelhantes foram observados sob condição de estresse hídrico, onde o tratamento com *Neptunia* a 160 kg N ha⁻¹ também apresentou maiores valores. De forma semelhante, Aderaldo *et al.* (2024) relataram incrementos na massa das raízes em plantas de girassol suplementadas com escama de tilápia sob estresse hídrico. O incremento significativo na massa fresca da raiz nos tratamentos com bioinsumos orgânicos sugerem uma estimulação da expansão do sistema radicular. Este mecanismo é determinante para o aumento do índice de tolerância à seca, uma vez que permite à planta uma exploração mais eficiente do volume de solo e a manutenção do turgor celular por períodos mais prolongados.

Em relação a variável massa fresca da parte aérea (MF_{PA}), verificou-se que o tratamento contendo NPK (80 kg N ha⁻¹) apresentou os maiores resultados (Figura 4B),

tanto na condição irrigada quanto sob estresse hídrico (EH). Entretanto, o tratamento *Neptunia* a 160 Kg N ha⁻¹, apresentou valores superiores quando comparado aos tratamentos com ROMM e ao controle (sem fertilizante) em ambos os regimes de irrigação. Resultados semelhantes foram encontrados por De Abreu Lima, (2026), que relataram incrementos na MF_{PA} em plantas de girassol suplementadas com nadadeiras de tilápia sob estresse salino.

Plantas de girassol cultivadas em substrato contendo NPK (80 kg N ha⁻¹) apresentaram os maiores valores para massa fresca total (MF_{total}) aos 33 DAS, independente do regime de irrigação (Figura 4D). Por outro lado, o tratamento com *Neptunia* 160 kg N ha⁻¹ apresentou valores superiores aos observados nos tratamentos com ROMM e no controle. Na condição irrigada, os valores foram, respectivamente, cerca de 78,9 e 327,4% superiores, enquanto sob estresse hídrico foram 95,39 e 331,8% maiores. Resultados semelhantes foram relatados por Barbosa *et al.* (2018) que observaram maiores valores de MF_{total} em plantas de girassol (*Helianthus annuus*) suplementadas com macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* em comparação ao controle (sem fertilizante).

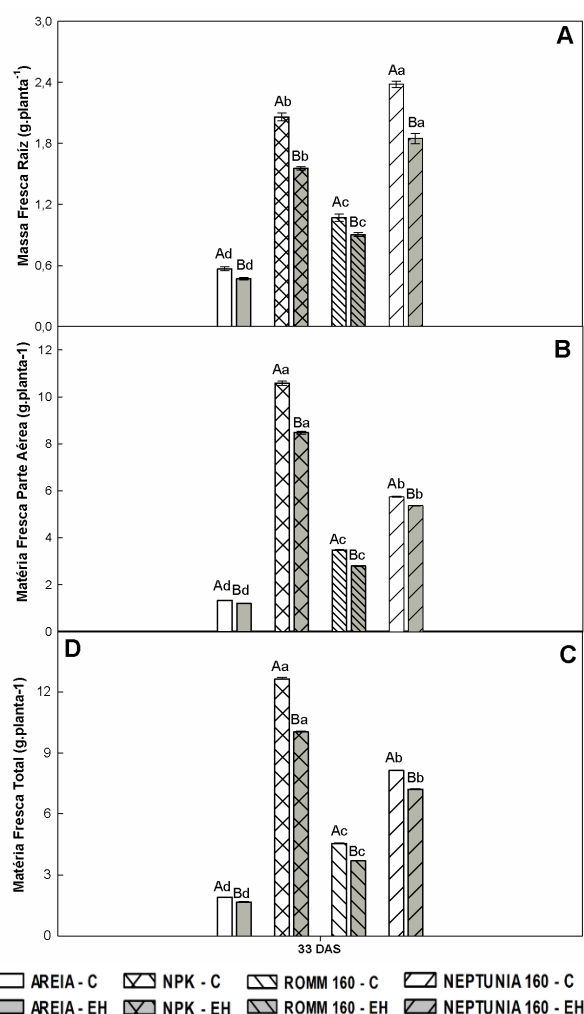


Figura 4. Massa fresca da raiz (A), parte aérea (B) e massa fresca total (C) de plantas de girassol aos 33 dias após a semeadura (DAS), cultivadas na ausência de adubação (controle), com NPK (80 kg N ha⁻¹),

com *Neptunia* (160 kg N ha⁻¹) e com resíduo orgânico misto de macrófitas aquáticas – ROMM (160 kg N ha⁻¹), sob condições de irrigada (colunas brancas) e de déficit hídrico (colunas cinzas), caracterizado por seis dias de suspensão de irrigação. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os diferentes substratos, de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Autores, 2024.

De modo geral, o tratamento com NPK apresentou os melhores resultados para o status hídrico das plantas de girassol, exceto para a variável MF_{raiz} na qual o tratamento suplementado com *Neptunia* a 160 kg de N ha⁻¹ foi superior aos demais tratamentos analisados. Além disso, os tratamentos com macrófitas aquáticas promoveram melhor status hídrico das plantas quando comparados ao controle (areia), tanto nas condições irrigadas quanto no estresse hídrico, evidenciado pelos maiores valores de MF_{raiz}, MF_{PA} e MF_{total} (Figura 4 A, B e C).

Resultados semelhantes foram encontrados para o cultivo de girassol sob condições de plena irrigação e estresse hídrico quando as plantas foram adubadas com resíduos de algas marinhas (Brito *et al.*, 2022), resíduos industriais de diferentes granulometrias (Costa *et al.*, 2021), e resíduos orgânicos de macrófitas (Barbosa *et al.*, 2024).

Para o cálculo do coeficiente de tolerância à seca (CTS) (Blum; Jordan, 1985), foram utilizados os dados de massa seca total de plantas (MS_{total}) dos tratamentos submetidos ao estresse hídrico, em comparação com plantas controle, de acordo com a seguinte equação:

$$CTS = \frac{MS_{total} \text{ tratamentos sob estresse hídrico}}{MS_{total} \text{ tratamentos controle}}$$

Diante das limitações hídricas, foram observadas alterações significativas nas variáveis avaliadas, culminando em diferentes índices relativos de tolerância ao estresse, que foi dependente do tratamento de adubação empregado no cultivo de girassol (Figura 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Ahmad *et al.* (2022), onde observaram que em plantas de girassol submetidas a estresse hídrico, apresentaram diminuição da área foliar, conteúdo relativo de água, potencial hídrico foliar, taxa de transpiração residual e do conteúdo de clorofila.

É importante destacar que as plantas suplementadas *Neptunia* a 160 kg de N ha⁻¹ promoveram uma considerável mitigação dos efeitos da seca no desenvolvimento do girassol, quando comparado aos grupos com plena irrigação e sob estresse hídrico. Tais resultados corroboram com Souza *et al.* (2021) que concluíram que o uso de macrófita (*Salvinia auriculata*) ocasionou aumento no crescimento de plântulas de girassol e a minimização dos efeitos deletérios do estresse hídrico.

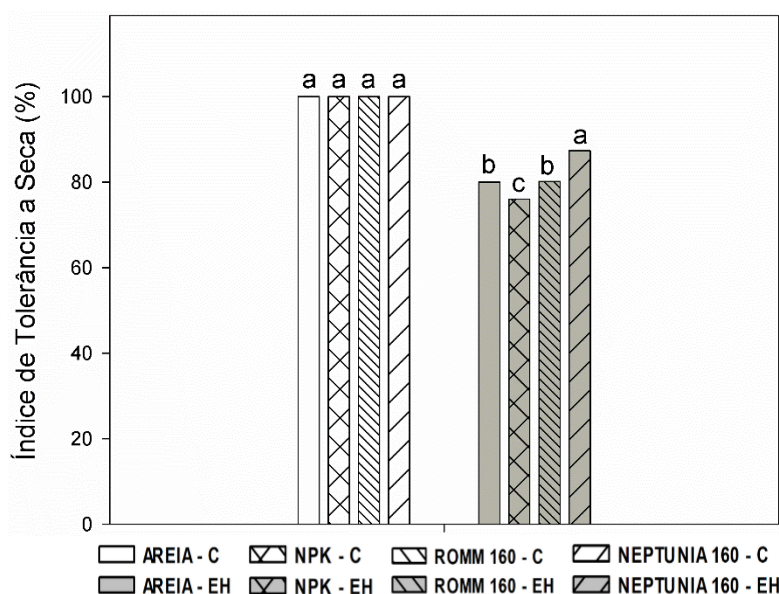


Figura 5. Índice relativo de tolerância ao estresse de plantas de girassol aos 33 dias após a semeadura (DAS), cultivadas com substrato contendo apenas areia (controle), NPK (80 kg N ha⁻¹), *Neptunia* (160 kg N ha⁻¹) e resíduo orgânico misto de macrófitas aquáticas – ROMM (160 kg N ha⁻¹) sob condições de irrigação (colunas brancas) e de déficit hídrico (colunas cinzas), caracterizado por seis dias de suspensão de irrigação. Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre aos diferentes substratos, de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Para cada variável foi realizada uma análise estatística independente.

Fonte: Autores, (2024).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo permitem concluir que o déficit hídrico atua como um fator limitante significativo ao desenvolvimento inicial do girassol, reduzindo drasticamente o seu vigor vegetativo. Contudo, a suplementação com bioinsumos de macrófitas aquáticas revelou-se uma estratégia eficaz para a mitigação desses danos, superando, em diversos indicadores, a adubação mineral convencional (NPK).

De forma específica, o tratamento com *Neptunia oleracea* (160 kg de N ha⁻¹) demonstrou o maior potencial bioestimulante, promovendo incrementos superiores em altura, número de folhas e teores de clorofila. O destaque para a biomassa radicular sob este tratamento é determinante, pois indica que o bioinsumo favorece a expansão do sistema de absorção, conferindo um índice de tolerância à seca mais elevado.

Adicionalmente, o desempenho positivo do Resíduo Orgânico Misto de Macrófitas (ROMM) valida a viabilidade do uso integral da biomassa flutuante da Lagoa da Precabura. Esta abordagem transforma o passivo ambiental gerado pela eutrofização em um insumo agrícola valioso e sustentável para o semiárido.

Em suma, as macrófitas aquáticas representam uma alternativa promissora para a substituição parcial de fertilizantes químicos. Recomenda-se, contudo, a realização de pesquisas complementares em condições de campo e a investigação dos

mecanismos bioquímicos específicos envolvidos nesse processo de aclimação ao estresse hídrico.

5 REFERÊNCIAS

ADELEKE, B. S.; BABALOLA, O. O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. **Food Science & Nutrition**, vol. 8, n. 9, p. 4666- 4684, 2020.

ADERALDO, F. Í. C.; DE ABREU LIMA, T.; DE SOUSA, E. D. N.; BARBOSA, R. M.; DOS SANTOS ABREU, V.; PRADO, L. P.; MARINHO, S. O. P.; GONDIM, F. A. Escama de tilápia como fertilizante estimula o sistema enzimático antioxidativo e reduz os efeitos do estresse hídrico em plantas de girassol. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 17, n. 53, p. e1318-e1318, 2024.

AHMAD, H. M., WANG, X., FIAZ, S., AZEEM, F., & SHAHEEN, T. Morphological and physiological response of *Helianthus annuus* L. to drought stress and correlation of wax contents for drought tolerance traits. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 47, n. 6, p. 6747-6761, 2022.

AMARAL, A. M., BASTOS, A. V. S., DOS SANTOS, M. Â. C. M., TEIXEIRA, M. B., & SOARES, F. A. L. Respostas fisiológicas do girassol em fase reprodutiva ao estresse hídrico e salino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e97101220199-e97101220199, 2021.

ANDERSEN, I. M., TAYLOR, J. M., KELLY, P. T., HOKE, A. K., ROBBINS, C. J., & SCOTT, J. T. Nitrogen fixation may not alleviate stoichiometric imbalances that limit primary production in eutrophic lake ecosystems. **Ecology**, v. 106, n. 1, p. e4516, 2025.

BARBOSA, R. M., DE BRITO, P. O. B., COSTA, F. R. D. S., 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, 2018.

BARBOSA, R. M.; DA SILVA C. F. R.; MARTINS, K.; OVÍDIO, P. O. B.; GONDIM, F. A. Avaliações de crescimento em plântulas de girassol suplementadas com resíduo orgânico de macrófita e submetidas a estresse salino. **Semana de Iniciação Científica (SEMIC)**. 2018.

BARBOSA, R. M.; DE SOUSA, E. D. N.; ADERALDO, F. Í. C.; DE ABREU LIMA, T.; DOS SANTOS ABREU, V.; PRADO, L. P.; MARINHO, S. O. P.; GONDIM, F. A. Potencial uso

de macrófitas oriundas da Lagoa da Precabura, Fortaleza, Ceará na adubação de plantas de girassol (*Helianthus annuus*). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, p. e3628-e3628, 2024.

BATISTA, P. F.; MÜLLER, C.; MERCHANT, A.; FUENTES, D.; SILVA-FILHO, R. D. O.; DA SILVA, F. B.; COSTA, A. C. Biochemical and physiological impacts of zinc sulphate, potassium phosphite and hydrogen sulphide in mitigating stress conditions in soybean. **Physiologia plantarum**, v. 168, n. 2, p. 456-472, 2020.

BLUM, A., JORDAN, W. R. Breeding crop varieties for stress environments. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 2, p. 199-238, 1985.

BRITO, P. O. B.; DE SOUSA FERREIRA, G.; DE SOUZA, J. N.; ADERALDO, F. Í. C.; SENA, L. M.; GONDIM, F. A. Plântulas de girassol sob condições de estresse salino suplementadas com algas marinhas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 60-65, 2022.

COSTA, F. R.S.; MOURA, L. F., ALBUQUERQUE, L.B.; LIMA, T. L. A.; BRITO, P. O. B.; GONDIM, F. A. Crescimento e atividade enzimática de plântulas de girassol sob estresse hídrico cultivadas com resíduo industrial em diferentes granulometrias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 358-365, 2021.

CRUZ, N. T., PORTO, E. M. V., RAMOS, B. L. P., SANTOS, H. P., SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P.S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Revista Científica Rural, Bagé-RS**, v. 25, n. 1, 2023.

DE ABREU LIMA, T., DE SOUSA FILHO, E. D. N., ADERALDO, F. Í. C., DE OLIVEIRA, L. K. B., BARBOSA, R. M., MARINHO, S. D. O. P., & GONDIM, F. A. Produção de matéria fresca e solutos orgânicos de girassol suplementadas com nadadeiras de tilápia sob estresse salino. **Peer Review**, v. 8, 2026

DE OLIVEIRA, EG, AMORIM, AV, DE SOUZA, FRO, BRANCO, LMC, DA SILVA, FDB, & DE AGUIAR, MI. Uso de macrófitas como alternativa de fertilização orgânica no cultivo de alface. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, pág. 1-17, 2025.

DE OLIVEIRA, L. R.; MARQUES, A. R. B.; DA SILVA, D.; SIDIÃO, W. B. Growth of *Eucalyptus urocam* under different irrigation managements. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 4, p. 92-99, 2019.

DE SOUZA, J. N., DE BRITO, P. O. B., DE SOUSA FERREIRA, G., DE ARRUDA, J. F., MATIAS, L. Q., & GONDIM, F. A. Suplementação com *Salvinia auriculata* reduz os efeitos deletérios do estresse hídrico em plântulas de girassol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 2, p. 145-152, 2021.

DONG, H.; FENG, Z.; YANG, Y.; LI, P.; YOU, Z. Sustainability assessment of critical natural capital: a case study of water resources in Qinghai Province, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125532, 2021.

GLIŃSKI, Jan; STĘPNIEWSKI, Witold. Soil aeration and its role for plants. **CRC press**, 2018.

HAROON, A.M. Factors affecting community structure, distribution pattern, and chemical composition of aquatic macrophytes in El-Rayah El-Nasery and El-Noubaria Canal of Nile River, Egypt. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 3, p. 235-244, 2020.

HUSSAIN, S., KHAN, M., ALTAF, M. T., SHAH, M. N., & ALFAGHAM, A. T. Deciphering the morpho-physiological and biochemical response of sunflower hybrids with the application of biochar and slow-release nitrogen fertilizers under drought stress for sustainable crop production. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1541123, 2025.

LUCENA, R. L.; FERRER, E.; GUILHERMINO, M. M. Mitigando os riscos da seca através de ações de recuperação e preservação do bioma caatinga no semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36546-36557, 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**, v. 2, p. 115-230, 1997.

MATACHE, A., VANGHELE, NA, PETRE, AA, & STANCIU, MM. Uso das plantas aquáticas Pistia stratiotes, Eichhornia crassipes e Salvinia molesta como fertilizante orgânico na agricultura sustentável – Revisão. **Anais da Universidade de Craiova - Agricultura, Montanologia, Série Cadastro**, v. 51, n. 2, p. 348-356, 2021.

MILA, A. J.; ALI, M. H.; AKANDA, A. R.; RASHID, M. H. O.; RAHMAN, M. A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic return of sunflowers. **Cogent Food & Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 1287619, 2017.

MOREIRA, L. M.; MOURA, L. F.; DE ALMEIDA, F. B. B.; PONTES FILHO, R. A.; GONDIM, F. A. Efeitos de diferentes concentrações de resíduo industrial de suplemento mineral para animal sobre o crescimento de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 1, 2019.

NIU, X., SONG, L., XIAO, Y., & GE, W. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their

potential in all eviating drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 2580, 2017.

NUNES, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B. D.; 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 & Água**, v. 12, p. 71-86, 2016.

PAULA, P. R. P.; JÚNIOR, A. P. N.; DE SOUZA, W. L.; DE ABREU, M. J. I.; TEIXEIRA, R. M. A.; CAPPELLE, E. R.; TAVARES, V. B. Chemical composition of BRS Capiacu elephant grass silage with cornmeal inclusion. **Pubvet**, v.14, p.148, 2020.

POVEDA, J. O uso de macrófitas de água doce como recurso na agricultura sustentável. **Revista Produção Mais Limpa**, v. 369, p. 133247, 2022.

SILVA, M. C. D. Serviços ecossistêmicos da Lagoa da Precabura (Estado do Ceará). **Trabalho de Conclusão de Curso – TCC. Universidade Federal do Ceará – UFC**, 2019.

SOUZA, J. N., DE BRITO, P. O. B., DE SOUSA FERREIRA, G., DE ARRUDA, J. F., MATIAS, L. Q., & GONDIM, F. A. Suplementação com *Salvinia auriculata* reduz os efeitos deletérios do estresse hídrico em plântulas de girassol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 2, p. 145-152, 2021.