



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* MARACANAÚ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS
MESTRADO ACADÊMICO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

ELIAS DO NASCIMENTO DE SOUSA FILHO

**APROVEITAMENTO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE
PRODUÇÃO DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO DE
GIRASSOL**

MARACANAÚ - CE

2025

ELIAS DO NASCIMENTO DE SOUSA FILHO

**APROVEITAMENTO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE
PRODUÇÃO DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO DE
GIRASSOL**

Dissertação de Mestrado apresentado 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. Linha de Pesquisa: Bioquímica e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim

**Coorientadora: Dr^a. Stelamaris De Oliveira
Paula Marinho**

MARACANAÚ - CE

2025

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 Sousa Filho, Elias do Nascimento.
APROVEITAMENTO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE PRODUÇÃO DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO DE GIRASSOL / Elias do Nascimento de Sousa Filho. - 2025.
95 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Franklin Aragão Gondim.
Coorientação: Profa. Dra. Stelamaris de Oliveira Paula Marinho.
1. Resíduos orgânicos. 2. Insumo agrícola. 3. Helianthus annuus L. 4. Déficit hídrico. I. Título.
CDD 620.91
-

ELIAS DO NASCIMENTO DE SOUSA FILHO

**APROVEITAMENTO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE PRODUÇÃO
DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO DE GIRASSOL**

Dissertação de Mestrado apresentado 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. Linha de Pesquisa: Bioquímica e Meio Ambiente.

Aprovado em 16/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Dr^a. Stelamaris de Oliveira Paula Marinho (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dr^a. Letícia Kenia Bessa de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Roberto Albuquerque Pontes Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus pela inspiração, luz e força.

À minha família e aos meus amigos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, por serem minha base.

Ao meu orientador, professor, conselheiro e amigo Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim, que me acompanha desde o início de minha jornada acadêmica, me ensinando muito mais que lições de cunho científico, mas contribuindo para construção da minha ética e caráter profissional e para minha construção como uma pessoa melhor a cada dia.

À minha coorientadora Dr^a. Stelamaris de Oliveira Paula Marinho, ao Prof. Dr. Albuquerque Pontes Filho e à Dr^a. Letícia Kenia Bessa de Oliveira, por aceitarem participar da banca examinadora, pelo conhecimento compartilhado, além da parceria construída nesses anos.

Aos amigos e colegas de estudo, em especial aos que me acompanharam durante o mestrado, que vivenciaram comigo os desafios e me ajudaram a vencê-los, agradeço o carinho, o apoio, o acolhimento, a paciência, os conselhos, os ensinamentos, as palavras motivadoras, as risadas, os momentos de descontração e diversão, por tudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa que foi instrumental para a realização deste mestrado. Além disso, agradeço o suporte financeiro destinado às pesquisas conduzidas no Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) por contribuírem com minha formação acadêmica.

Aos técnicos administrativos em educação, bem como demais servidores da instituição que contribuíram das mais diversas formas ao longo da minha formação, agradeço os ensinamentos, a eficiência, a paciência, e a atenção dispensada, vocês fazem a diferença nessa instituição.

A todos que de alguma forma me auxiliaram nesta caminhada.

RESUMO

SOUSA FILHO, E, N. Aproveitamento de resíduos de tanques de produção de tilápia como fertilizante no cultivo de girassol Orientador: Franklin Aragão Gondim, IFCE. Coorientadora: Stelamaris de Oliveira Paula Marinho, UFC. Dissertação, Maracanaú, 2025.

Esta dissertação de mestrado está estruturada em quatro artigos científicos (capítulos), publicados em periódicos reconhecidos nacionalmente, revisados por pares e indexados em bases de conhecimento relevantes. O Capítulo 1 traz uma revisão bibliográfica acerca da aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de plantas, como o girassol. O Capítulo 2, por sua vez, trata do processo de produção de fertilizante a partir de sedimentos de tanques de tilápias (STT), apresentando o processo de obtenção, caracterização, preparo e aplicação do resíduo orgânico na produção de girassol. O Capítulo 3, apresenta o uso de STT no cultivo de plantas de girassol, sob condição de déficit hídrico, avaliou-se o crescimento e atividade enzimática antioxidativa. Por fim, o Capítulo 4, em complemento ao anterior, aborda a produção de massa fresca e seca e teores de solutos orgânicos. O presente estudo visou avaliar o potencial de fertilização do STT para o cultivo de plantas de girassol sob condições de déficit hídrico, observando sua influência no crescimento e desenvolvimento vegetal, no sistema enzimático antioxidativo e nos teores de solutos orgânicos. A etapa de cultivo vegetal foi conduzida em casa de vegetação. Foram avaliadas variáveis de crescimento e teores relativos de clorofila de plantas de *Helianthus annuus* L. (girassol) e mensurada a atividade das enzimas antioxidativas catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX), peroxidase do ascorbato (APX) e superóxido dismutase (SOD), assim como a produção de biomassa e teores dos solutos orgânicos. Foram utilizados cinco tratamentos, sendo três concentrações de STT (equivalente a 80, 160 e 240 kg de N ha⁻¹), uma concentração de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e um grupo com ausência de biofertilizante. As plantas submetidas a suplementação com resíduos obtiveram incrementos significativos em seus desenvolvimentos tanto em condições normais de irrigação, quanto sob déficit hídrico. Em termos de crescimento, o tratamento STT240 destacou-se, alcançando alturas médias de 25,8 cm em condições irrigadas e 21,6 cm sob estresse, superiores aos demais grupos. Além disso, manteve teores de clorofila elevados (31,18 UA irrigado e 29,28 UA sob déficit). No sistema enzimático, a catalase (CAT) apresentou maior atividade no STT240, com 2,14 µMol H₂O₂ min⁻¹ g⁻¹ MF em folhas irrigadas e 1,85 µMol sob déficit, indicando resposta antioxidativa robusta. A SOD manteve atividade estável nos tratamentos com STT, enquanto a APX e a GPX mostraram reduções ou ajustes finos conforme o estresse, sugerindo menor acúmulo de espécies reativas de oxigênio. Os resultados obtidos podem ser atribuídos à capacidade do STT de melhorar as propriedades físico-químicas do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais e estimular as atividades das enzimas antioxidativas das plantas. Nesse contexto, verificou-se que a concentração de STT mais adequada para o cultivo foi de 240 kg de N ha⁻¹. Além disso, destaca-se que a reutilização de sedimentos de piscicultura como insumo agrícola oferece uma alternativa economicamente acessível e ambientalmente sustentável para a gestão de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, insumo agrícola, *Helianthus annuus* L, déficit hídrico.

ABSTRACT

SOUSA FILHO, E, N. Use of waste from tilapia production tanks as fertilizer in sunflower cultivation. Advisor: Franklin Aragão Gondim, IFCE. Co-advisor: Stelamaris de Oliveira Paula Marinho, UFC. Dissertation, Maracanaú, 2025.

This master's dissertation is structured into four scientific articles (chapters) published in nationally recognized journals, peer-reviewed, and indexed in relevant knowledge bases. Chapter 1 provides a literature review on the application of organic waste in the cultivation of plants, such as sunflowers. Chapter 2, in turn, addresses the process of producing fertilizer from tilapia pond sediments (TTS), presenting the process of obtaining, characterizing, preparing, and applying the organic waste in sunflower production. Chapter 3 presents the use of TTS in the cultivation of sunflower plants under water deficit conditions, evaluating growth and antioxidant enzyme activity. Finally, Chapter 4, in addition to the previous one, addresses the production of fresh and dry matter and organic solute contents. This study aimed to evaluate the fertilization potential of TTS for sunflower cultivation under water deficit conditions, observing its influence on plant growth and development, the antioxidant enzyme system, and organic solute levels. The plant cultivation stage was conducted in a greenhouse. Growth variables and relative chlorophyll levels of *Helianthus annuus* L. (sunflower) plants were evaluated, and the activities of the antioxidant enzymes catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), ascorbate peroxidase (APX), and superoxide dismutase (SOD) were measured, as well as biomass production and organic solute levels. Five treatments were used: three TTS concentrations (equivalent to 80, 160, and 240 kg N ha⁻¹), one NPK concentration at 80 kg N ha⁻¹, and a group without biofertilizer. Plants supplemented with residues showed significant increases in development both under normal irrigation conditions and under water deficit. In terms of growth, the STT240 treatment stood out, reaching average heights of 25.8 cm under irrigated conditions and 21.6 cm under water stress, higher than the other groups. Furthermore, it maintained high chlorophyll levels (31.18 AU under irrigated conditions and 29.28 AU under water deficit). In the enzyme system, catalase (CAT) showed greater activity in STT240, with 2.14 $\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ in irrigated leaves and 1.85 μMol under water deficit, indicating a robust antioxidant response. SOD maintained stable activity in the STT treatments, while APX and GPX showed reductions or fine adjustments according to stress, suggesting a lower accumulation of reactive oxygen species. The results obtained can be attributed to TTS's ability to improve soil physicochemical properties, increase the availability of essential nutrients, and stimulate the activity of plant antioxidant enzymes. In this context, the most suitable TTS concentration for cultivation was 240 kg N ha⁻¹. Furthermore, it is noteworthy that the reuse of fish farm sediments as an agricultural input offers an economically accessible and environmentally sustainable alternative for organic waste management.

Keywords: Organic waste, agricultural input, *Helianthus annuus* L, water deficit.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 2

- Figura 1. Tanque de produção de tilápias pós secagem, DNOCS (Pentecoste-CE).....46
- Figura 2. Amostra do sedimento *in natura* (A) e após secagem (B).....46
- Figura 3. Amostra do sedimento após peneiração.....47
- Figura 4. Teores relativos de clorofila (SPAD) (A), altura (cm planta⁻¹) (B), número de folhas (C) e diâmetro caular (mm planta⁻¹) (D) de plântulas de girassol, aos 14 e 21 dias após a semeadura (DAS), submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia, além de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e areia. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Valores seguidos por letras distintas numa mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para cada período (14 e 21 DAS) foi realizada uma análise estatística independente.....52

ARTIGO 3

- Figura 1. Plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura, sob condições controle e de estresse (déficit) hídrico (10 dias de suspensão de irrigação) (B).....63
- Figura 2. Número de folhas (A), diâmetro caular (B), altura (C) e teores relativos de clorofila (D) de plantas de girassol aos 28 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 8 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....64
- Figura 3. Atividade das enzimas catalase - CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em folhas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....66
- Figura 4. Atividade das enzimas catalase - CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em raízes de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....68

ARTIGO 4

Figura 1. Matéria fresca da raiz (A), da parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....82

Figura 2. Matéria seca da raiz (A), da parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....84

Figura 3. Teores de carboidratos solúveis nas folhas (A) e raízes (B) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....85

Figura 4. Teores de proteínas solúveis nas folhas (A) e raízes (B) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....87

LISTA DE QUADROS

ARTIGO 1

Quadro 1. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.....	28
Quadro 2. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.....	28
Quadro 3. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.....	29
Quadro 4. Estudos sobre aplicação de resíduos orgânicos no cultivo vegetal.....	29

ARTIGO 2

Quadro 1. Tratamentos utilizados no experimento.....	48
--	----

ARTIGO 3

Quadro 1. Descrição dos tratamentos do experimento.	61
--	----

ARTIGO 4

Quadro 1. Denominação dos tratamentos utilizados no experimento, sendo dois grupos hídricos (com irrigação plena - Controle Irrigado - CI e irrigação suspensa aos 20 Dias Após a Semeadura – DAS - Déficit Hídrico – DH).....	80
--	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

Tabela 1. Resultados analíticos do sedimento.....	49
---	----

ANEXOS

Anexo 1: Capa da publicação do artigo 1 na Revista DELOS, Curitiba, v. 17, n. 62, p. 01-22, 2024.....	92
Anexo 2: Capa da publicação do artigo 2 na Revista <i>Observatório de la Economía Latinoamericana</i> , Curitiba, v.23, n.6, p. 01-16. 2025.....	93
Anexo 3: Capa da publicação do artigo 3 na Revista Caderno Pedagógico, Curitiba, v.22, n.10, p.01-21.2025.....	94
Anexo 4: Capa da publicação do artigo 4 na Revista <i>Observatório de la Economía Latinoamericana</i> , Curitiba, v.23, n.10, p. 01-18. 2025.....	95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	15
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
3. CAPÍTULO 1: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO VEGETAL (REVISÃO DE LITERATURA).....	19
4. CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE A PARTIR DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIAS.....	41
5. CAPÍTULO 3: APLICAÇÃO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE ESTIMULA O SISTEMA ENZIMÁTICO ANTIOXIDATIVO E REDUZ OS EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE GIRASSOL.....	55
6. CAPÍTULO 4: SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIAS COMO FERTILIZANTE INCREMENTAM O CRESCIMENTO E REDUZEM EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLÂNTULAS DE GIRASSOL	74
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
ANEXOS	92

1. INTRODUÇÃO

Em 2023 no Brasil, segundo o Relatório de Resíduos Sólidos (2024) da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), estima-se geração anual estimada de aproximadamente 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que equivale a mais de 221 mil toneladas de resíduos geradas todos os dias, ou cerca de 382 kg de RSU por habitante durante o ano (Abrema, 2024). Grande parte dos resíduos gerados não recebe destinação sanitária e ambientalmente adequada (Gouveia, 2012), ocasionando poluição e danos ambientais, muitas vezes irreversíveis, contribuindo assim para o desequilíbrio ecológico (Gomes; Carvalho, 2005).

Conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a gestão dos RSU deve seguir uma sequência de ações prioritárias. Essa ordem começa com a prevenção da geração de resíduos, seguida pela diminuição da quantidade gerada, reaproveitamento, reciclagem, tratamento dos resíduos e, por fim, a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2024). Essa hierarquia valoriza as estratégias menos prejudiciais ao meio ambiente, promovendo práticas que favorecem a transição para um modelo de economia mais circular e sustentável (Abrema, 2024).

Nesse cenário, o Brasil encontra-se em um processo de transição de um modelo predominantemente baseado na disposição inadequada de RSU em aterros irregulares ou lixões, para um sistema integrado de gestão e gerenciamento mais sustentável. Este novo paradigma contempla a diversificação das tecnologias de tratamento e a valorização dos resíduos, em consonância com os princípios da hierarquia da gestão de resíduos (Pereira; Barbosa, 2025).

O país já apresenta avanços na cadeia de reciclagem de resíduos secos, como papel, plástico, vidro e metais, e observa-se uma crescente incorporação de iniciativas voltadas à reciclagem e compostagem de resíduos orgânicos. Adicionalmente, tecnologias de recuperação energética, como a produção de combustível derivado de resíduos, geração de biogás por digestão anaeróbia e subsequente purificação para obtenção de biometano, vêm ganhando relevância como alternativas viáveis e alinhadas às diretrizes da economia circular e da transição energética (Lemos; Cardoso; Costa, 2024).

Considerando que os resíduos sólidos urbanos (RSU) contêm uma grande proporção de material orgânico, representando aproximadamente 50 a 65% do total gerado, torna-se

fundamental buscar e implementar alternativas para sua utilização. Esses resíduos podem ser aproveitados, por exemplo, para melhorar a fertilidade do solo, funcionando como fonte de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Sousa, 2012).

No cenário de geração de resíduos orgânicos, destaca-se que o aumento expressivo da produção aquícola no Brasil tem acarretado a geração de volumes consideráveis de resíduos provenientes do processamento de pescado. A gestão inadequada desses subprodutos configura um desafio relevante tanto sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental quanto em relação à saúde pública e à economia das comunidades pesqueiras (Resende; Custódio, 2024). Considerando o potencial climático favorável, a ampla disponibilidade hídrica e a extensão territorial do país, a produção nacional de peixes cultivados alcançou, em 2023, aproximadamente 887.029 toneladas — representando um incremento de 31% em comparação ao ano anterior, conforme dados do Anuário Brasileiro da Piscicultura de 2024 (PeixeBR, 2024).

A intensificação dessa atividade produtiva resulta na geração de grandes quantidades de resíduos orgânicos, tais como vísceras, cabeças, espinhas dorsais, nadadeiras, escamas, caudas e resíduos metabólicos, lodos e sedimentos. Quando não manejados de forma apropriada, esses materiais podem causar impactos ambientais significativos, além de comprometer a saúde das populações locais e a sustentabilidade do setor (Resende; Custódio, 2024).

Destaca-se que os resíduos orgânicos provenientes da piscicultura, como lodos, sedimentos, fezes e restos metabólicos, apresentam elevado potencial de reaproveitamento agrícola, sobretudo como fertilizantes orgânicos. Esses subprodutos são ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal, podendo ser utilizados na adubação de culturas agrícolas, promovendo a ciclagem de nutrientes e a melhoria das propriedades físico-químicas do solo. Além disso, sua utilização contribui para a redução da dependência de fertilizantes minerais e para o manejo sustentável dos resíduos, mitigando impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado. (Silva *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2020).

Como modelo vegetal, o girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como uma matéria-prima promissora para a produção de biodiesel no Brasil, devido ao seu elevado teor de óleo nas sementes e à qualidade do combustível resultante. O óleo de girassol é rico em ácidos graxos insaturados, o que confere ao biodiesel características desejáveis, como boa fluidez em baixas temperaturas e menor emissão de poluentes. Além disso, o subproduto da extração do óleo,

conhecido como torta de girassol possui alto valor nutricional e pode ser utilizado na alimentação animal, agregando valor à cadeia produtiva (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2021). A aplicação do girassol na produção de biodiesel representa um meio eficaz para ampliar a matriz energética nacional, promovendo a diversificação das fontes renováveis e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Essa abordagem está em consonância com as diretrizes de sustentabilidade e com os compromissos do Brasil em relação à segurança energética e à mitigação das mudanças climáticas (Ministério da Agricultura e Pecuária - Mapa, 2023).

Ademais, dentre os recursos utilizados pelas plantas considera-se que a água é o mais requerido e, ao mesmo tempo, o mais frequentemente limitante. Logo, a escassez de chuvas representa um dos maiores obstáculos ao desenvolvimento da agricultura em áreas áridas e semiáridas. Nessas condições, as plantas podem sofrer estresse hídrico tanto pela pouca oferta de água no solo onde ocorre a absorção pelas raízes quanto por perdas excessivas de água associadas às altas taxas de evapotranspiração (Taiz *et al.*, 2017). Tal cenário se reflete na vegetação e na necessidade de estudos e tecnologias que possam viabilizar e qualificar a produção agrícola.

1.1 Objetivos

O presente estudo tem por objetivo geral analisar a possibilidade de aproveitamento agrícola dos resíduos orgânicos provenientes da piscicultura, com ênfase nos sedimentos gerados na produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em tanques. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a geração de resíduos na piscicultura, sobretudo da tilápia.
- Coletar, processar e caracterizar os sedimentos gerados em tanques de cultivo de tilápia.
- Testar o potencial do resíduo como fertilizante agrícola em plantas de girassol, sob estresse abiótico, por meio de análises de variáveis biométricas, teores relativos de clorofila, atividade enzimática antioxidativa e teores de solutos orgânicos.

2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em quatro artigos científicos publicados em periódicos reconhecidos nacionalmente, revisados por pares e indexados em bases de conhecimento relevantes.

O Capítulo 1 (Artigo 1) traz uma revisão bibliográfica acerca da aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de plantas, como o girassol. Além de apresentar conceitos importantes acerca da temática, traz ainda um panorama dos trabalhos desenvolvidos na área nos últimos anos. O Capítulo 2 (Artigo 2), por sua vez, trata do processo de produção de fertilizante a partir de sedimentos de tanques de tilápias, apresentando o processo de obtenção, caracterização, preparo e aplicação do resíduo orgânico na produção de girassol, avaliando variáveis morfofisiológicas como: altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, teores relativos de clorofila aos 14 e 21 dias após a semeadura (DAS).

O Capítulo 3 (Artigo 3), apresenta o uso dos resíduos dos tanques de produção de tilápia no cultivo de plantas de girassol, sob condição de déficit hídrico, foram avaliadas variáveis biométricas aos 28 DAS, teores relativos de clorofila e atividade enzimática antioxidativa. Por fim, o Capítulo 4 (Artigo 4), em complemento ao anterior aborda a produção de massa fresca e seca e teores de solutos orgânicos.

O artigo 1 foi publicado na Revista DELOS (QUALIS B1), com DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n62-177>, já o artigo 2 encontra-se publicado na Revista *Observatório de La Economía Latinoamericana* (QUALIS A4), sob DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv23n6-019>. O artigo 3, por sua vez, foi publicado na Revista Caderno Pedagógico (QUALIS A2), com DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n10-108>. Por fim, o artigo 4 encontra-se publicado na Revista *Observatório de La Economía Latinoamericana*.

REFERÊNCIAS

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. *Relatório de resíduos sólidos 2024*. São Paulo: **ABREMA**, 2024. Disponível em: <https://abrema.org.br/publicacoes/relatorio-2024>. Acesso em: 02 de abril de 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 de maio de 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Girassol é alternativa de renda e fonte de biodiesel sustentável*. Brasília: **MAPA**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/biodiesel-e-oleaginosas/girassol>. Acesso em: 26 de maio de 2025.

EMBRAPA. Desenvolvimento de híbridos e variedades de girassol adaptados às diferentes condições edafoclimáticas brasileiras e às novas demandas de mercado. Projeto **Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/18510/desenvolvimento-de-hibridos-e-variedades-de-girassol-adaptados-as-diferentes-condicoes-edafoclimaticas-brasileiras-e-as-novas-demandas-de-mercado>. Acesso em: 26 de maio de 2025.

GOMES, T. M.; CARVALHO, L. C. Poluição e impactos ambientais causados pela má destinação dos resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36, p. 45–55, 2005. Disponível em: https://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/1234. Acesso em: 01 de maio de 2025.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos e saúde pública: desafios e perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 1, p. 125–126, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/YZXVNc3sYgkGdWd9jWZyRMt/>. Acesso em: 22 de março de 2025.

LEMO, G. L., CARDOSO, M. F. O., & COSTA, H. K. DE M. (2024). Biogás e biometano no Brasil: panorama e perspectivas. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 63(ja/ju 2024.), 464-485. doi:10.5380/dma.v63i0.88929. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v63i0.88929>. Acesso em: 28 de janeiro de 2025.

PEIXEBR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. *Anuário brasileiro da piscicultura 2024*. Brasília: **PeixeBR**, 2024. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2024>. Acesso em: 22 de maio de 2025.

PEREIRA, J. C.; BARBOSA, M. DE F. N. (2025). Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e suas dimensões política, econômica, ambiental, cultura e social: uma revisão sistemática da literatura. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, 18(2), e15193. <https://doi.org/10.55905/revconv.18n.2-042>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

RESENDE, M.; CUSTÓDIO, D. Resíduos da piscicultura: desafios e oportunidades para sustentabilidade e economia circular. **Revista Brasileira de Agroecologia e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 34–42, 2024. Disponível em: <https://revistaagroecologia.com.br/article/view/9876>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

SANTOS, W. S. et al. Potencial dos resíduos da piscicultura na fertilização do solo: uma alternativa sustentável. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 567–586, 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27366210016>. Acesso em: 26 maio 2025.

SILVA, F. C. da et al. Aproveitamento agrícola dos resíduos da piscicultura: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 17, n. 1, p. 158–171, 2023. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/RBAI/article/view/59976>. Acesso em: 26 maio 2025.

SOUSA, A. L. Utilização de resíduos orgânicos na agricultura: alternativas para fertilização e recuperação de solos. **Revista Científica do Semiárido Nordestino**, v. 8, n. 2, p. 87–94, 2012. Disponível em: <https://revistasemiarido.com.br/article/view/4657>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

3. CAPÍTULO 1: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS COMO FERTILIZANTE NO CULTIVO VEGETAL (REVISÃO DE LITERATURA)

Encontrar alternativas para a destinação de resíduos orgânicos é crucial para a sustentabilidade ambiental e econômica, oferecendo benefícios como a redução da poluição, a geração de fertilizantes naturais, a diminuição do desperdício e a possibilidade de economia para estabelecimentos que geram resíduos.

Nesse sentido, o artigo 1 buscou compreender o cenário da geração de resíduos orgânicos, sobretudo da cadeia produtiva de tilápia. Apresentou conceitos e dados relevantes pertinentes à temática, além de apresentar, por meio da revisão sistemática de literatura, um panorama dos trabalhos desenvolvidos envolvendo a aplicação de substratos orgânicos na fertilização de plantas, apresentando as possibilidades e oportunidades a serem exploradas em estudos futuros. Neste capítulo, o primeiro objetivo específico foi cumprido: Analisar a geração de resíduos na piscicultura, sobretudo da tilápia.

3.1 Artigo de Pesquisa (formatado conforme Revista DELOS)

DOI:10.55905/rdelosv17.n62-177

ISSN:1988-5245

Recebimento dos originais: 19/11/2024

Aceite para publicação: 12/12/2024

Aproveitamento de resíduos orgânicos como fertilizante no cultivo vegetal

Use of organic waste as fertilizer in vegetable cultivation

Utilización de residuos orgánicos como abono en el cultivo de plantas

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Especialista em Meio Ambiente e Saneamento Básico
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Mestre em Energias Renováveis
Instituição: Universidade de São Paulo
Endereço: São Carlos – São Paulo, Brasil
E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Tiago de Abreu Lima

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil
E-mail: tiago.abrlm@gmail.com

Rifandreo Monteiro Barbosa

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil
E-mail: rifandreo@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil
E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Leticia Pinheiro Prado

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil
E-mail: leticia.pinheiro09@aluno.ifce.edu.br

Stelamaris de Oliveira Paula Marinho

Doutora em Bioquímica
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil
E-mail: stelamarisop@live.com

Franklin Aragão Gondim

Doutor em Bioquímica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Endereço: Maracanaú - Ceará, Brasil

E-mail: aragaofg@yahoo.com.br

RESUMO

Os resíduos orgânicos estão presentes em diversas etapas da cadeia produtiva da agroindústria, quando esses materiais não recebem manejo ou destinação adequada geram uma série de impactos ambientais, como a contaminação de corpos hídricos e do solo. Nesse contexto, o estudo objetivou apresentar uma revisão bibliográfica dos trabalhos mais recentes relacionados a aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de plantas. Para seleção dos artigos adotaram-se critérios de inclusão, que servem como regra para filtrar os artigos pesquisados e selecionar apenas os mais atuais e relevantes para serem expostos nos resultados desta revisão. Ao todo foram revisados 18 trabalhos, em três tópicos diferentes, visando apresentar um panorama geral da adubação orgânica, além de trazer um enfoque aos resíduos agroindustriais da piscicultura. Após análise dos trabalhos selecionados, foi possível concluir que o aproveitamento de resíduos orgânicos da agroindústria como fertilizante apresenta-se como alternativa viável para sistemas de produção orgânica, principalmente em virtude da elevada qualidade nutricional e biológica, além do composto orgânico fornecer benefícios ao meio ambiente.

Palavras-chave: compostos orgânicos, fertilizantes, cultivo vegetal, girassol, tilápia.

ABSTRACT

Organic waste is present at various stages of the agro-industry production chain. When these materials are not adequately managed or disposed of, they generate a series of environmental impacts, such as the contamination of water bodies and soil. In this context, the study aims to present a bibliographical review of the most recent works related to the application of organic waste in plant cultivation. To select the works found, inclusion criteria were adopted, which serve as a rule to filter the articles researched and select only the most current and relevant ones to be exposed in the results of this review. In total, 18 works were reviewed, on three different topics, aiming to present a general overview of organic fertilization in addition to focusing on agro-industrial waste from fish farming. After analyzing the selected works, it was possible to conclude that the use of organic residues from agroindustry as fertilizer presents a viable alternative for organic production systems, mainly due to the high nutritional and biological quality, in addition to the organic compound providing benefits to the environment.

Keywords: organic compounds, fertilizers, vegetable cultivation, sunflower, tilapia.

RESUMEN

Los residuos orgánicos están presentes en diversas etapas de la cadena productiva de la agroindustria, cuando esos materiales no reciben manejo o destino adecuado para una serie de impactos ambientales, como la contaminación de cuerpos hídricos y solo. En este contexto, el estudio objetivo presenta una revisión bibliográfica de los trabajos más recientes relacionados con aplicaciones de residuos orgánicos en el cultivo de plantas. Para seleccionar dos artículos adoptaron-se criterios de inclusión, que sirven como regla para filtrar los artículos pesquisados y seleccionar apenas los más atuais y relevantes para serem expostos nos resultados de esta revisión. Ao todo foram revisados 18 trabalhos, em tres tópicos diferentes, visando apresentar un panorama general de la educación orgánica, além de trazer um enfoque aos resíduos

agroindustriais da piscicultura. Después del análisis de los trabajos seleccionados, es posible concluir que el aprovechamiento de residuos orgánicos de la agroindustria como fertilizante se presenta como alternativa viable para sistemas de producción orgánica, principalmente en virtud de una elevada calidad nutricional y biológica, además del composto orgánico que genera beneficios para el medio ambiente.

Palabras clave: compuestos orgánicos, fertilizantes, cultivo de hortalizas, girasol, tilapia.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos possibilitaram extenso crescimento populacional, aumento no consumo per capita e expansão dos centros urbanos. Com isso, observou-se um grande incremento no consumo de matéria e energia. Nesse contexto, houve grande aumento na produção de alimentos para atender a demanda gerada pela expansão populacional, consequentemente, gerando aumento na produção de resíduos.

Dentre os diversos setores de produção alimentícia, a piscicultura tem se destacado pelo seu crescimento ao longo dos últimos anos. Em 2018 a produção mundial chegou a 82,1 milhões de toneladas (FAO, 2020). Entretanto, esse aumento da produção traz consigo o aumento na geração de resíduos sólidos orgânicos, os quais geralmente não recebem manejo ou destinação adequada, gerando uma série de impactos ambientais, como a contaminação de corpos hídricos e do solo.

Um dos tipos de pescado produzidos na piscicultura é a *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo), espécie mais cultivada no Brasil, podendo ser produzida em praticamente todo o território nacional. Em 2020, a tilápia representou 53,4% do total produzido proveniente da piscicultura nacional, totalizando 343.595 toneladas (IBGE, 2020). O processo produtivo da piscicultura fornece resíduos ricos em nutrientes e matéria orgânica que podem ser incorporados ao solo como fonte de nutriente para as culturas, representando uma redução nos custos de produção para as lavouras (Salazar; Saldana, 2007). A aplicação de resíduos orgânicos, como os da produção de tilápia, no cultivo de plantas, pode ser considerada como uma estratégia sustentável para aplicação desses materiais.

O *Helianthus annuus* L. (girassol) é uma espécie vegetal que possui enorme potencial como planta oleaginosa, atualmente, a grande motivação para a produção de óleo de girassol é a produção de biodiesel no país. Com a finalidade de diversificar a matriz energética do país e diminuir a dependência energética externa e de combustíveis fósseis, os quais são poluentes, existe um interesse crescente no uso de fontes de energias renováveis (Gazzoni, *et al.*, 2005). Assim o cultivo girassol como fornecedora dessa matéria prima, é alternativa sustentável para produção de biocombustíveis.

O girassol tem apresentado no Brasil expansão de área de cultivo. Trata-se de uma cultura resistente, aclimatando-se às mais diversas condições de clima e solo. (Leite *et al.*, 2007). Nesse contexto, o estudo objetivou apresentar uma revisão bibliográfica dos trabalhos mais recentes relacionados à aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de plantas, como o girassol.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E AGROINDUSTRIAIS

O crescimento econômico e populacional, o desenvolvimento tecnológico e o crescente processo de urbanização trazem consigo mudanças, nos modos de produção e consumo da sociedade. Em virtude disso, a geração de resíduos sólidos tem crescido, principalmente, nos grandes centros urbanos (Gouveia, 2012). No ano de 2020 o país alcançou um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, representando uma geração de cerca de 390 quilogramas por habitante ao ano (Abrelpe, 2021).

Grande parte dos resíduos gerados não recebe destinação sanitária e ambientalmente adequada (Gouveia, 2012). A grande quantidade de resíduos produzida traz diversos problemas para a população, como a proliferação de doenças causadas pela má disposição do lixo, contribuindo para a poluição e danos ambientais, muitas vezes irreversíveis, colaborando assim para o desequilíbrio ecológico (Gomes; Carvalho, 2005).

Dentre os resíduos sólidos, tem-se uma grande parcela de resíduos orgânicos, estes podem ser de origem vegetal, animal, urbano ou industrial e apresentam elevados teores de componentes orgânicos (Rezende, 2010). O material orgânico representa em torno de 50 a 65% de todo o resíduo gerado. É importante destacar que o descarte inadequado dos resíduos orgânicos gera impactos ao meio ambiente, ocasionando tipos diversos de contaminação. Existe um potencial muito grande para ser explorado, pois eles podem ser aproveitados para a ciclagem de nutrientes no solo, atuando, por exemplo, como fonte de crescimento de plantas florestais, ornamentais e na agricultura como um todo (Sousa, 2012).

O agronegócio é um setor produtivo que possui forte impacto no Brasil, tendo grande contribuição na economia do país, tal fato também influencia na grande produção de resíduos. Os resíduos orgânicos estão presentes em diversas etapas da cadeia produtiva da agroindústria, havendo uma estimativa de que o aproveitamento das matérias-primas vegetais não ultrapasse cerca dos 85% e que os resíduos gerados possam chegar a 30% (Do Nascimento Filho; Franco,

2015). A Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura, estima que a produção mundial de resíduos agroindustriais atinja 1,3 bilhão de toneladas por ano (FAO, 2013).

2.2 ALTERNATIVAS PARA APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), as alternativas consideradas ambientalmente adequadas para destinação/disposição de resíduos sólidos são: disposição em aterro, reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (BRASIL, 2010). Complementarmente, Beuren (2019), aponta que o aproveitamento dos resíduos orgânicos para compostagem evita o acúmulo e promove o controle da poluição, redução da dependência de fertilizantes químicos. Dessa forma, o reaproveitamento dos resíduos orgânicos resulta em maior sustentabilidade dos sistemas agroindustriais.

Os processos produtivos agroindustriais geram grandes quantidades de resíduos orgânicos (Correa *et al.*, 2019). Esses resíduos geralmente apresentam alto potencial para utilização agrícola, pois são constituídos por elevado teor de matéria orgânica e por elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais. (Rezende, 2010). Eles apresentam constituição física, química e biológica interessante, atuam melhorando a agregação das partículas, a condutividade hidráulica, a porosidade, a retenção de água, a capacidade do campo, o pH, a temperatura e a fertilidade do solo (Sousa, 2012).

A aplicação de resíduos orgânicos agroindustriais como composto orgânico voltado ao cultivo vegetal, mostra-se uma alternativa sustentável de destinação desses materiais. Além disso, enormes quantidades de resíduos agroindustriais gerados na cadeia produtiva podem ser incorporadas ao ciclo de produção, contribuindo para redução dos impactos ambientais gerados pelo descarte e disposição inadequados desses materiais. Nesse contexto, destaca-se que a piscicultura, um ramo da agroindústria, tem crescido e com isso gerado mais resíduos, com destaque para a produção de tilápia, que tem predominância no mercado nacional.

2.3 CADEIA PRODUTIVA DA TILÁPIA E OS RESÍDUOS ASSOCIADOS

A *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo), oriunda de diversos países africanos, sendo a espécie mais cultivada em todo o mundo (Silva *et al.*, 2015), foi introduzida no Brasil na década de 70. A produção de tilápia tem crescido de forma constante nos últimos anos,

assegurando a colocação de espécie mais produzida na piscicultura nacional (Pedroza *et al.*, 2020). Representou 53,4% do total produzido proveniente da piscicultura nacional no ano de 2020, totaliza 343.595 toneladas (IBGE, 2020).

A tilápia se sobressai das demais espécies, por crescimento acelerado, reprodução mais tardia (atingindo maior tamanho antes da primeira reprodução) e alta prolificidade, proporcionando a produção de grandes quantidades de alevinos (Silva *et al.*, 2015). É reconhecida pela capacidade de adequação, rusticidade, elevada resistência a doenças e estresse, proteína de boa qualidade, refletindo alta aceitação no mercado consumidor e baixos custos no processo produtivo, podendo ser cultivadas em áreas de elevada salinidade e baixas temperaturas, sendo adequadas para a cultivo em áreas de clima tropical e subtropical (Duarte, 2017). Os principais produtos comercializados da tilápia são peixes inteiros congelados e, principalmente, os filés que representam a preferência de consumo.

A produção industrializada da tilápia do Nilo apresenta baixo rendimento, o que acarreta grande geração de resíduos, os quais precisam de melhor aproveitamento (Chambo, 2018). Uma das características indesejáveis desta espécie é o baixo rendimento de filé, que atinge cerca de 35% do processamento do peixe, gerando em torno de 65% de resíduos (Monteiro, 2013). A filetagem da tilápia gera um grande volume de resíduos, como cabeças, peles, escamas, carcaças e vísceras, sendo muitas vezes descartados de forma inadequada, gerando um grande problema de poluição ambiental (Aderaldo Vidal-Campello *et al.*, 2020).

Além dos resíduos de filetagem, os processos produtivos geram o acúmulo de sedimentos (resíduos orgânicos e metabólicos) nos tanques e viveiros. A adição de fertilizantes, excreção dos peixes e restos de ração, principais fontes de resíduos orgânicos nesses sistemas, depositam-se no fundo dos tanques (Hussar *et al.*, 2002). Os resíduos agroindustriais da piscicultura, quando manejados de maneira inadequada podem gerar sérios danos ambientais, assim buscar alternativas para a reutilização desses resíduos, com critérios, pode resultar em menor degradação do meio ambiente e também pode trazer retornos econômicos.

Há diversas estratégias alternativas para tratar resíduos de peixe, como compostagem, produção de farinha e óleo de peixe para incremento em rações, produção de biogás e biofertilizante (Fonseca, 2018). O acréscimo de matéria orgânica ao solo objetiva a melhoria suas características biológicas, físicas e químicas, contribuindo para o desenvolvimento adequado das plantas. Uma das formas mais eficientes é a aplicação de compostos orgânicos de boa qualidade, que podem ser obtidos a partir de resíduos orgânicos, como é o uso da tilápia (Parajara, 2020), que se caracteriza como uma atividade sustentável e economicamente viável (Vidotti; Lopes, 2016), proporcionando incrementos ao solo e às plantas cultivadas. Nesse

contexto, aplicação dos resíduos da produção de tilápia na compostagem e no cultivo de plantas é uma alternativa viável para aumentar o aproveitamento dos mesmos.

2.4 GIRASSOL

O *Helianthus annuus* L. (girassol) é uma planta oleaginosa considerada versátil que se desenvolve bem na maioria dos solos agricultáveis e, apresenta ampla capacidade de aclimação, sendo cultivada em diferentes regiões do território nacional (Santos *et al.*, 2021). É uma espécie que tem apresentado no Brasil expansão de área de cultivo. Esta cultura vem sendo utilizada para produção de óleo comestível de alta qualidade, ornamentação, ração para animais, ou ainda como matéria prima na produção de biodiesel (Souza *et al.*, 2015).

O girassol apresenta características importantes (maior tolerância à seca, ao frio e ao calor) em relação à maioria das espécies cultivadas no Brasil. Seu rendimento é pouco influenciado pela latitude e pelo fotoperíodo (EMBRAPA, 2007). Trata-se de uma cultura que apresenta importantes características agronômicas, como elevado teor de óleo nos seus grãos. Apresenta ainda ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas (Santos *et al.*, 2020). O nitrogênio é o nutriente mais requerido pela cultura do girassol, por assumir funções importantes no metabolismo vegetal. A sua deficiência causa desordem nutricional, sendo, também, o nutriente que mais limita a produção, proporciona redução de até 60% na produtividade. (Nascimento *et al.*, 2013).

O cultivo de girassol visava basicamente produção de alimentação animal, produção de óleo comestível e ornamentação. Entretanto, a partir do ano de 2005, a cultura despertou o interesse de agricultores, técnicos e empresas, devido à possibilidade de utilização do óleo derivado das sementes na produção de biocombustíveis (Cadorin *et al.*, 2012). A cultura apresenta altos teores de óleo vegetal, da ordem de 40 a 54%. O teor de óleo nos grãos do girassol é de suma importância para a viabilidade da produção inserida no atual mercado de biodiesel (EMBRAPA, 2007).

O cultivar BRS 323 possui como característica um ciclo produtivo precoce, variando de 80 a 98 dias, o que facilita sua utilização tanto na rotação como na sucessão de culturas. O teor de óleo nos aquênios varia de 40% a 44% (EMBRAPA, 2007). A variedade BRS 323 é uma opção para atender a demanda da indústria para produção de óleo comestível e biocombustíveis, bem como uma alternativa de rotação, consórcio ou sucessão de culturas (Carvalho *et al.*, 2013).

Com enorme potencial como planta oleaginosa, atualmente, a grande motivação para a produção de óleo de girassol é a produção de biodiesel no país. Com a finalidade diversificar a

matriz energética do país e diminuir a dependência energética externa e de combustíveis fósseis, os quais são poluentes, existe um interesse crescente no uso de fontes de energias renováveis (Gazzoni *et al.*, 2005), assim o cultivo girassol (BRS 323) como fornecedora dessa matéria prima, é alternativa sustentável para produção de biocombustíveis. A aplicação de resíduos orgânicos no cultivo desta cultura, pode-se considerar como uma estratégia sustentável para destinação desses materiais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo, foi seguida uma série de passos referentes à pesquisa, filtragem de dados e seleção de artigos nas plataformas de pesquisa e periódicos *Scielo*, *Science Direct*, *Google Scholar*.

Antes da pesquisa propriamente dita, foi feito o levantamento das possíveis palavras-chave a serem incluídas nas ferramentas de busca. Essa lista de palavras chave foi sendo alterada à medida que os arquivos encontrados apresentavam novas palavras-chave também úteis à pesquisa em si. Foi necessária uma análise da sintaxe de busca das diferentes plataformas para uma busca mais refinada e obtenção de artigos que se enquadrassem melhor nos requisitos para esta revisão.

Para seleção dos trabalhos, adotaram-se critérios de inclusão que serviram como regra para filtrar os artigos pesquisados e selecionar apenas os mais atuais e relevantes para serem expostos nos resultados desta revisão. São eles:

- Os artigos devem estar ligados direta ou indiretamente com os tópicos abordados no presente estudo;
 - Os artigos analisados nos resultados devem ter sido publicados nos últimos 8 anos (2016-2023);
 - Todos os artigos devem apresentar resultados relevantes para a área estudada;
- Ademais, a fim de apresentar um panorama geral da adubação orgânica além de trazer um enfoque aos resíduos agroindustriais da piscicultura, a construção da presente revisão pautou-se em três tópicos principais:
1. Aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de espécies diversas;
 2. Cultivo de girassol sob adubação de diferentes resíduos orgânicos;
 3. Cultivo de plantas sob adubação de resíduos da piscicultura.

4 RESULTADOS

Ao todo foram adotados 18 trabalhos na construção da revisão, além disso, no processo de busca foram utilizadas sintaxes de pesquisa específicas em cada tópico do trabalho, conforme apresentados nos quadros de resultados 1,2 e 3.

1. Aplicação de resíduos orgânicos no cultivo de espécies diversas: (“waste” OR “residue” OR “organic waste”) AND (“fertilizing” OR “fertilization”) AND (“cultivation” OR “vegetable cultivation” OR “vegetables production”)

Quadro 1. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.

BASE	ARTIGOS ENCONTRADOS	EXCLUSÕES	CRITÉRIOS APLICADOS
<i>Science direct</i>	175	173	Recência; relevância; escopo fora da área de interesse
<i>Scielo</i>	51	48	Recência; duplicatas; relevância; escopo fora da área de interesse.
<i>Google scholar</i>	170	167	Recência; duplicatas; relevância; escopo fora da área de interesse.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, foram revisados oito artigos no primeiro tópico.

2. Cultivo de girassol sob adubação de diferentes resíduos orgânicos: (“waste” OR “residue” OR “organic waste”) AND (“fertilizing” OR “fertilization”) AND (“sunflower cultivation” OR “sunflower” OR “sunflower production”)

Quadro 2. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.

BASE	ARTIGOS ENCONTRADOS	EXCLUSÕES	CRITÉRIOS APLICADOS
<i>Science direct</i>	21	21	Escopo fora da área de interesse; ano de publicação.
<i>Scielo</i>	16	14	Recência; duplicatas; relevância; escopo fora da área de interesse.
<i>Google scholar</i>	127	124	Ano de publicação; relevância dos resultados; escopo fora da área de interesse.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, foram adotados cinco artigos no segundo tópico.

3. Cultivo de plantas sob adubação de resíduos da piscicultura: (“fish waste” OR “fish residue” OR “fish farming residue” OR “fish farming organic waste”) AND (“fertilizing” OR “fertilization”) AND (“vegetable cultivation” OR “vegetable production”)

Quadro 3. Resultados de busca com base nas sintaxes utilizadas, critérios de inclusão e exclusão adotados.

BASE	ARTIGOS ENCONTRADOS	EXCLUSÕES	CRITÉRIOS APLICADOS
<i>Science direct</i>	44	42	Escopo fora da área de interesse; ano de publicação; relevância.
<i>Scielo</i>	2	2	Recência; duplicatas; relevância;
<i>Google scholar</i>	99	96	Ano de publicação; relevância dos resultados; escopo fora da área de interesse.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, foram considerados cinco artigos no terceiro tópico.

5 DISCUSSÃO

Os resíduos e compostos orgânicos se caracterizam por serem ricos em nutrientes e matéria orgânica, podendo ser incorporados para produção agrícola. Nesse contexto, destacam-se alguns trabalhos que estudaram a adubação de culturas diversas com aplicação desses materiais, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Estudos sobre aplicação de resíduos orgânicos no cultivo vegetal.

Cultura estudada	Fertilizante aplicado	Autor e ano de publicação
Melancia	Cinzas de bagaço de cana	Costa <i>et al.</i> , 2018
Mamona	Resíduos orgânicos agroindustriais: casca de amendoim, fibra de coco, bagaço de cana, torta de mamona ou casca de arroz carbonizada	Almeida <i>et al.</i> , 2019
Alface	Composto orgânico: resíduos de pescado, palhada de crotalária, capim elefante e esterco bovino	Teodoro e Pereira, 2021
Aroeira-vermelha	Lodo de estação de tratamento de esgoto	Toneti <i>et al.</i> , 2019
Cogumelo	Palha de guaraná, bagaço de cana-de-açúcar e casca de café	Silva <i>et al.</i> , 2021
Rúcula	Casca e palha de alho	Araújo <i>et al.</i> , 2021
Cebola	Resíduos da criação e abate de suínos	Higashikawa <i>et al.</i> , 2022
Alface	Composto de resíduos vegetais frescos	Porto, Mariano e Cardoso, 2023

Fonte: Elaborado pelos autores.

Costa *et al.* (2018) avaliaram o crescimento e fisiologia de plantas de melancia submetidas a doses de cinzas de bagaço de cana. Verificando que a utilização de cinzas provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar aplicadas ao solo favoreceu significativamente no crescimento e nas trocas gasosas das plantas de melancia, onde os tratamentos com 6 e 9 % de cinzas promoveram melhores respostas em todas as variáveis analisadas. Além disso, apontaram que por se tratar de um subproduto agrícola, torna-se uma alternativa viável e eficaz na substituição de insumos químicos para produção de melancia.

Almeida *et al.* (2019) estudaram a aplicação de diferentes resíduos orgânicos agroindustriais (casca de amendoim, fibra de coco, bagaço de cana, torta de mamona ou casca de arroz carbonizada) no cultivo de mamona. Os resultados apontaram o uso da casca de amendoim como uma alternativa viável para o cultivo de mamona, sendo uma estratégia ambientalmente vantajosa. A aplicação desse material proporcionou incremento nas variáveis de crescimento da planta (área foliar, matéria fresca, matéria seca).

Semelhantemente à Almeida *et al.* (2019), Teodoro e Pereira (2021) obtiveram resultados que sugerem viabilidade, na produção de mudas de alface, utilizando composto orgânico, sendo esse elaborado com resíduos de pescado, palhada de crotalaria (*Crotalaria juncea*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*), além do esterco bovino curtido. A aplicação deste composto propiciou parâmetros superiores e matéria orgânica, relação C/N, capacidade de troca de cátions e de macro e micronutrientes, quando comparados aos outros compostos estudados. Já Toneti *et al.* (2019) aplicaram o lodo de ETE's (estações de tratamento de esgoto) visando cultivo de plantas em uma área degradada. Os resultados indicaram que o composto usado não só agrega valor nutricional ao solo, mas também serve também como substrato para o crescimento inicial das plantas de aroeira-vermelha, uma cultura com potencial na recuperação de solos degradados.

Outro estudo é o de Silva *et al.* (2021), que estudaram o uso de substrato composto por palha de guaraná, bagaço de cana-de-açúcar e casca de café para a produção de cogumelo, como resultado a cultura apresentou melhor eficiência biológica e produção total, além de agregar nitrogênio (N) e potássio (K) no substrato. Semelhantemente, Araújo *et al.* (2021) aplicaram composto orgânico a base de casca e palha de alho, que melhorou o desenvolvimento das plantas de rúcula, resultando em aumento do diâmetro das plantas e melhor desempenho nas demais variáveis analisadas. Ainda no mesmo campo de pesquisa, Higashikawa *et al.* (2022) fizeram o uso de composto orgânico de resíduos da criação e abate de suínos no cultivo de cebola, os resultados indicaram que o composto pode substituir o uso de fertilizantes minerais.

Ademais, Porto, Mariano e Cardoso (2023) estudaram a compostagem de resíduos vegetais frescos e sua aplicação no cultivo de alface. Como resultados, apontaram que a adição de composto provocou aumento de todas as características avaliadas, além disso, concluíram que a produção de composto orgânico e sua mistura a um substrato comercial mostrou-se uma alternativa para produção de alface, proporcionando destino adequado aos resíduos orgânicos e promovendo redução do uso de insumos industriais.

Nesse cenário, observa-se que o uso de resíduos orgânicos como compostos fertilizante em diversas culturas vegetais é uma estratégia viável para proporcionar melhorias no cultivo vegetal, bem como reduzir o uso de fertilizantes químicos.

O girassol é uma planta oleaginosa de grande relevância econômica e ambiental, com aplicações em alimentação, ornamentação e em produção de biocombustíveis. A aplicação de resíduos orgânicos no cultivo desta cultura é uma alternativa sustentável para destinação desses materiais, pois promove melhorias no crescimento e reduz os custos com adubação. Nesse contexto, algumas pesquisas estudaram a aplicação de compostos e resíduos orgânicos no cultivo de girassol: percolato de aterro sanitário (Nunes Junior *et al.*, 2017a, 2017b), algas arribadas (Brito *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2020), resíduos de cana-de-açúcar (Silva *et al.*, 2022).

Nunes Junior *et al.* (2017a) evidenciaram a potencialidade do uso do percolato de aterros sanitários (substância com elevado teor orgânico) como fonte de nutrientes para plântulas de girassol, propiciando aumentos nos teores relativos de clorofila e acúmulo de matérias fresca e seca. Complementarmente, Nunes Junior *et al.* (2017b) concluíram que a aplicação de lixiviado de aterro sanitário no cultivo de girassol, proporcionou incremento nas variáveis de crescimento. É importante destacar que em ambas as pesquisas não houve inibições de crescimento no girassol devido ao uso do efluente de aterro sanitário. Isso ocorre pela tolerância do girassol a muitos metais, sendo uma cultura que pode ser empregada na fitorremediação de solos contaminados, bem como receber o chorume como material fertilizante.

Nessa mesma linha de pesquisa, Brito *et al.* (2018) e Brito *et al.* (2020) apontaram que a utilização de resíduo orgânico de algas arribadas, no cultivo de girassol, resultou em uma melhora nas variáveis de crescimento em relação às plantas, crescendo em substrato com areia ou areia e húmus. A aplicação de algas arribadas como composto fertilizante, no cultivo de plantas de girassol, se caracteriza como uma destinação sustentável desses materiais, para proporcionar melhorias de crescimento em uma cultura vegetal de grande relevância econômica e elevado potencial na produção de biocombustíveis.

Ademais, Silva *et al.* (2022) estudaram o crescimento e fisiologia plantas de girassol adubadas com cinza de bagaço de cana-de-açúcar, observaram que incrementos nas variáveis analisadas devido à disponibilidade de nutrientes contidos nas cinzas. Assim, concluíram que a cinza pode ser utilizada como fertilizante alternativo, complementando ou substituindo os fertilizantes minerais.

Os resíduos orgânicos provenientes dos tanques de piscicultura, possuem aplicabilidade na agricultura. Destacam-se alguns estudos que pesquisaram sobre o uso desses materiais no cultivo de diferentes plantas: mamoeiro (Rosa *et al.*, 2018), alface (Silva *et al.*, 2018), cenoura (Melo *et al.*, 2022), pitanga (Alves *et al.*, 2022) e cebola (Fruscella *et al.*, 2023).

Rosa *et al.* (2018) aplicaram resíduo de tanque de piscicultura no cultivo de mamoeiro, onde as plantas apresentaram incremento positivo para todas as variáveis, à medida em que se aumentaram as concentrações do composto, demonstrando o efeito benéfico no desempenho das mudas.

Já Silva *et al.* (2018) aplicaram lodo de tanques escavados da piscicultura como substrato na produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) e concluíram que o uso do resíduo proporciona um adequado desenvolvimento das mudas de alface apresentando efeitos similares ou superiores aqueles proporcionados pelo húmus (fertilizante comercial).

Semelhantemente, Melo *et al.* (2022) verificaram que a adição de sedimentos de tanque de tambaqui (*Colossoma macropomum*) com complementação mineral impactou consideravelmente as variáveis estudadas e mostrou-se eficiente em proporcionar incrementos na produção de cenoura (*Daucus carota* L.).

Ainda, Alves *et al.* (2022) estudaram o uso do lodo proveniente dos viveiros de cultivos de peixes na produção de mudas de Pitanga (*Eugenia Uniflora* L.) e observaram que na medida em que se aumentou os níveis de lodo do viveiro de peixe, houve um incremento no desenvolvimento das mudas. Além disso, concluíram que o lodo de viveiro de peixes ainda se apresentou como um fertilizante de baixo custo, principalmente com o aporte de nitrogênio, mostrando que é economicamente viável quando comparado com a quantidade de nitrogênio contido nos outros fertilizantes orgânicos.

Por fim, Fruscella *et al.* (2023) investigaram os efeitos da aplicação de efluentes da piscicultura como fertilizante orgânicos na produção de cebola (*Allium cepa*) e verificaram que a fertilidade do solo foi melhorada pela adição do efluente, em particular no solo tratado com água de peixe não filtrada ou lamas, o que resultou no solo com o maior teor de nitratos. Observaram ainda que a fertilização com o efluente tratado aerobiamente resultou em

rendimentos mais elevados do que o estrume, apresentando o melhor desempenho no crescimento e rendimento da cebola.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se verificar que o aproveitamento de resíduos orgânicos da agroindústria como fertilizante apresenta-se como alternativa viável para sistemas de produção orgânica, principalmente em virtude da elevada qualidade nutricional e biológica, além do composto orgânico fornecer benefícios ao meio ambiente, através da destinação alternativa de resíduos orgânicos que se dispostos na natureza, de forma desordenada, ocasionam vários danos socioambientais, incluindo a proliferação de vetores e a veiculação de microrganismos.

Além disso, a adubação das mais diversas culturas, com variados resíduos orgânicos, tem demonstrado elevado potencial devido a presença dos nutrientes essenciais às plantas e, principalmente, devido a seu elevado teor de matéria orgânica, que atua positivamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, beneficiando o desenvolvimento vegetal.

Por fim, foi possível observar uma escassez de trabalhos acerca do aproveitamento dos mais diversos tipos de resíduos oriundos da piscicultura, bem como de estudos que testem aplicação de resíduos no cultivo de girassol ou outras oleaginosas, ou ainda, estudos que correlacionem os dois temas. Tal cenário reflete num campo de pesquisa a ser explorado, como possibilidade de desenvolvimento de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.**, 2018/2019, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 29 mar. 2023.
- ADERALDO VIDAL-CAMPELLO, J. M.; SILVA, A. P. G.; SANTOS, D. N; FERREIRA DOS SANTOS, J.; COSTA, W. M. Aproveitamento de resíduos de tilápia como alternativa para o desenvolvimento local da comunidade do açude Saco I, Serra Talhada- PE. **Revista Extensão & Cidadania**, [S. l.], v. 8, n. 14, p. 45-59, 2020. DOI: 10.22481/recuesb.v8i14.7818. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/recuesb/article/view/7818>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- ALMEIDA, F.B.B.; MOURA, L.F.; COSTA, F.R.S.; ARRUDA, J.F.; SENA, L.M.; GONDIM, F.A. **Avaliação das características germinativas e de crescimento em mamoneira cultivada em diferentes resíduos orgânicos agroindustriais**. HOLOS, Ano 35, v.6, e7572, 2019. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7572/pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- ALVES, V. O. T. F.; FIRMO, A. L. B.; MELO, D. C. P.; FERREIRA, D. A.; SILVA, R. F. Uso do lodo proveniente dos viveiros de cultivos de peixes na produção de mudas de Pitanga (Eugenia Uniflora l.). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.1, p.276-287, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0022>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ARAÚJO, J. V. F.; FERREIRA, R. I. B.; MARTINS, D. C.; BALLARIS, A. L. Utilização de doses de composto orgânico a base de palha e casca de alho no desenvolvimento da cultura de rucula. **Brazilian Journal of Development**, v.1 7, n. 9, 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/36260/pdf>. Acesso em: 3 de maio de 2023.
- BEUREN, F. **Utilização de diferentes tipos de resíduos agroindustriais como substrato na compostagem de biossólido industrial**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2548/1/Fernanda%20Beuren.pdf>. Acesso em: 6 de abril de 2023.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 03/08/2010, p. 3, seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 29 de março de 2023.
- BRITO, P. O. B.; FERREIRA, G. D. S.; ADERLDO, F. I. C.; BRAGA, J. D. F.; DE SOUZA, J. N.; GONDIM, F. A. Crescimento e teores relativos de clorofila em plantas de girassol suplementadas com algas mistas, *Hypnea pseudomusciformis* ou *Ulva fasciata*. **Nativa**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 533-537, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/9244>. Acesso em: 3 de abril de 2023.

BRITO, P. O. B.; MARTINS, K.; BARBOSA, R.M.; ARRUDA, J. F.; CARNEIRO, P. B. M.; GONDIM, F.A. Relative chlorophyll content and concentration of inorganic solutes in sunflowers plants supplemented with marine macroalgae organic. **Revista Ceres [online]**, v. 65, n. 05 pp. 395-401, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201865050003>>. Acesso em: 1 de abril de 2023.

CADORIN, A.; SOUZA, V.; MANFRON, P.; CARON, B.; MEDEIROS, S. Características de plantas de girassol, em função da época de semeadura, na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1738-1743, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/VYZRgTdm4qVyh5k6NNdPHDt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B.; AMABILE, R. F.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, I. R.; GODINHO, V. P. C.; RAMOS, N. P.; LEITE, R. M. V. B. C.; GONCALVES, S. L.; BRIGHENTI, A. M. **Cultivar de girassol BRS 323 - Híbrido com produtividade e precocidade**. Londrina: Embrapa, 2013. Folder. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/964171/1/folderBRS323copy.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CHAMBO, A. P. S. **Aproveitamento do resíduo de filetagem da tilápia do nilo para produção de farinhas com potencial aplicação na alimentação humana**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Maringá, 2018. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4699>. Acesso em: 2 out. 2023.

CORREA, B. A.; PARREIRA, M. C.; MARTINS, J. S.; RIBEIRO, R. C.; DA SILVA, E. M. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [S. l.], v. 9, n. 1, 2019. DOI: 10.21206/rbas.v9i1.7970. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/7970>. Acesso em: 2 out. 2023.

COSTA, R. S.; PINTO, A. F. B. P.; CAMPELO, M. E. S.; SOUZA, J. W. N.; PINTO, C. M.; AMORIM, A. V. CRESCIMENTO E FISILOGIA DE MELANCIA SUBMETIDA A DOSES DE CINZAS DE BAGAÇO DE CANA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2018. 12. 2897-2906. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/865>. Acesso em: 20 out. 2023.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V. S. **Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 45, p. 137-187, mar. 2017. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11814>. Acesso em: 2 out. 2023.

DO NASCIMENTO FILHO, W.B.; FRANCO, C.R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, p. 1968-1987, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/download/880/627/6601>. Acesso em: 2 out. 2023.

DUARTE, F. O. S. **Caracterização da carne de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a dietas suplementadas com óleo de peixe**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, 2017. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/TESE__Francine_Oliveira_Souza_Duarte.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

EMBRAPA. **Informes da avaliação de genótipos de girassol 2005/2006 e 2006**. Londrina: EMBRAPA Soja, 120p. (Documentos 285), 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102954/1/Tecnologias-para-o-desenvolvimento-da-cultura-do-girassol-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action**. Roma, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Acesso em: 2 out. 2023.

FONSECA, C. **Potencial bioquímico de biogás de resíduo de filetagem de tilápia oreochromis nilóticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4803/1/potencialbioquimicoresiduotilapia.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

FRUSCELLA, L.; KROTZEN, B.; PARADELO, M.; MILLIKEN, S. Investigating the effects of fish effluents as organic fertilisers on onion (*Allium cepa*) yield, soil nutrients, and soil microbiome. *Scientia Horticulturae*, Volume 321, 2023, 112297, ISSN 0304-4238. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112297>. Acesso em: 20 out. 2023.

GAZZONI, D.; FELICI, P. H.; CORONATO, R. M.; RALISCH, R. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Biomassa & Energia**. v. 2, p. 259-265, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285078802_Balanco_energetico_das_culturas_de_soja_e_girassol_para_producao_de_biodiesel. Acesso em: 20 ago. 2023.

GOMES, E.; CARVALHO, J. M. **Vida e lixo: A situação de fragilidade dos catadores de material reciclável e os limites de reciclagem**. p. 20-60, 2005 Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-01072013-163538/publico/Julia.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**. v.17, p. 1503-1510, 2012. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

HIGASHIKAWA, F. S.; CANTÚ, R. R.; KURTZ, C.; GONÇALVES, P. A. de S.; VIEIRA NETO, J. Aplicações anuais de adubação mineral e orgânica em plantio direto de cebola: efeito no rendimento e na fertilidade do solo. **Revista Thema**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 130–153, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2490>. Acesso em: 20 ago. 2023.

HUSSAR, G.J.; PARADELA, A. L.; SAKAMOTO, Y.; JONAS, T.C.; ABRAMO, A.L. Aplicação da água de escoamento de tanque de piscicultura na irrigação da alface: Aspectos nutricionais. **Revista Ecossistema**, Brasília, DF, 27.2, 13 abr. 2006. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ecossistema/viewarticle.php?id=60>. Acesso em: 20 ago. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/PPM - PESQUISA DA PECUÁRIA MUNICIPAL. **Dados do SIDRA, 2020.** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020>. Acesso em: 20 ago. 2023.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B. **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. (Embrapa Soja, Comunicado Técnico n. 78). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSo-2009-09/28045/1/comtec78_girassol.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.

LIRA, M. A.; CARVALHO, H. W. L.; CHAGAS, M. C. M.; BRISTOT, G.; DANTAS, J. A.; LIMA, J. M. P. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino.** Natal - RN: EMPARN, 2011. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMPARN/DOC/DOC000000000000381.PDF>. Acesso em: 20 de junho de 2022.

MELO, V.; MAIA, S.; MEDEIROS, W.; GOMIDE, P.; UCHÔA, S.; SOUZA, F.; DUARTE, D. Sedimentos de tanque de piscicultura na produção de cenoura em sucessão com feijão-caupi. **Revista Agraria Acadêmica**, v. 5, p. 68-76, 2022. Disponível em: <https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2022/02/Rev-Agr-Acad-v5-n1-2022-p68-76-Sedimentos-de-tanque-de-piscicultura-na-producao-de-cenoura-em-sucessao-com-feijao-caupi.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MONTEIRO, M. L. G. **Aproveitamento de resíduos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para elaboração de novos produtos com valor agregado.** Tese (Doutorado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Universidade Federal Fluminense, 2013. Disponível em: <http://higieneveterinaria.uff.br/wp-content/uploads/sites/270/2020/07/marialucia.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

NASCIMENTO, N. V.; LIMA, V. L. A.; FARIAS, M. S. S.; SUASSUNA, J. F.; SANTOS, J. B. Efeito residual da adubação orgânica no crescimento do girassol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** (Mossoró – RN - BRASIL), v. 8, n. 2, p.04 - 12, 2013 (Nota Técnica Científica). Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7395431.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

NUNES JUNIOR, F.H.; FREITAS, V.S.; MESQUITA, R.O.; BRAGA, B.B.; BARBOSA, R.M.; MARTINS, K.; GONDIM, F.A. Effects of supplement with sanitary landfill leachate in gas exchange of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings under drought stress. **Environmental and Scientific Pollution Research**, v. 24, p. 24002–24010, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0047-6>. Acesso em: 20 ago. 2023.

NUNES JUNIOR, F.H.; GONDIM, F.A.; BRAGA, B.B.; BARBOSA, R.M.; BRITO, P. O. B. Emergência e Crescimento Inicial de Plantas de Girassol Submetidas a Diferentes Concentrações de Percolado de Aterro Sanitário. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 10, n. 5, p. 57-64, jan. 2017. ISSN 2176-0144. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1161>. Acesso em: 20 ago. 2023.

OLIVEIRA, A. C.; MEIRA, J. C. **Impactos ambientais decorrentes da falta de compostagem do lixo orgânico no município de Morrinhos/Goiás**. I Simpósio Interdisciplinar em Ambiente e Sociedade – Os desafios e perspectivas na relação homem/natureza/sociedade no século XXI. 2017. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/sias/article/view/12004/8821>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PARAJARA, F. C. **Compostagem de resíduos orgânicos e a influência da utilização do composto sobre a produção de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., visando o uso em restauração ecológica de área degradada**. Tese de doutorado, Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. São Paulo, 2020. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/sites/242/2021/09/tese_fulvio-cavalheri-parajara_dr_final-.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

PEDROZA, M. X. F.; RIBEIRO, V. S.; ROCHA, H. S.; UMMUS, M. E.; VALE, T. M. **Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1125358>. Acesso em 10 de junho de 2022.

PEDROZA M. X. F.; ROUTLEDGE E. A. B. **Intensificação Produtiva da Aquicultura Brasileira e Novas Demandas Tecnológicas**. Nota técnica AGROPENSA/EMBRAPA. Palmas: EMBRAPA, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355321/44141054/Nota+T%C3%A9cnica+-+INTENSIFICA%C3%87%C3%83O+AQUICULTURA+BRASILEIRA+E+NOVAS+DEMANDAS+TECNOL%C3%93GICAS+-+AGROPENSA+13-10-16+-/044b9dd7-ae30-cfbd-0ae3-90fe25ec627e>. Acesso em 10 de junho de 2022.

REZENDE, J. S. **Uso de resíduos orgânicos na composição de substratos alternativos para a produção de mudas**. 2010. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12131/1/Diss%20Josielle.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

ROSA, D. K. O. F.; BARROS, D. L.; AIRES, F. P. G.; GOMIDE, P. H. O. Aproveitamento do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de mamoeiro em Rorainópolis. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 11, p. 120-136, 2018. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/download/154/68/370>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

SALAZAR, F. J.; SALDANA, R. C. Characterization of manures from fish Cage farming in Chile. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3322-3327, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852406002975>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SANTOS, J.; PEIXOTO, C.; SILVA, M.; ALMEIDA, A.; CASTRO, A.; POELKING, V.; OLIVEIRA, E. R. Características agrônômicas do girassol em consórcio no sistema ILP. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 10481-10493, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-714>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SANTOS, D. R.; PINHEIRO, R. A.; SILVA, J. E.; SOUSA, T. A.; BARROS, R. P. Resposta do desempenho da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L., asteraceae) cultivados com esterno aviário em vaso. **Revista Ambientale, [S. l.]**, v. 12, n. 2, p. 32–39, 2020. Disponível

em: <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/204>. Acesso em: 6 abr. 2022.

SILVA, A. P. R.; PAIVA, G. A.; DAVID, G. Q.; MEDEIROS, J. D.; FIGUEIREDO, A. M. C. Uso de resíduos agrícolas para produção de cogumelos comestíveis no Norte do Estado de Mato Grosso / Use of agricultural residues for the production of edible mushrooms in the North of the State of Mato Grosso. **Brazilian Journal of Development**. v. 7, p. 82074-82089, 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/34655>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, G. F.; MACIEL, L. M.; DALMASS, M. V.; GONÇALVES, M. T. **Tilápia-do-nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná**. Curitiba: GIA, 2015. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

SILVA, J. A. R. **Sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos de peixes para a obtenção de farinha**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, 2021. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8673/11/Disserta%C3%A7%C3%A3o_JosianeSilva_PGCA.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, J. C. A.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J.S.; SOUZA, C. M. P. G.; BORGES, J. P. G. S.; CAVALCANTE, W. F. Crescimento e fisiologia de duas cultivares de girassol adubadas com cinza de bagaço de cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum**. Agronomia, 2022, 44 , e54392. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54392>. Acesso em: 20 out. 2023.

SILVA, J. L. A.; ARAÚJO, M. S. B.; SILVA, R. F.; ALVES, W. V.; LUDKE, J. V. Uso do lodo de tanques escavados da piscicultura como substrato na produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*). **ABA**, v. 13 n. 1 (2018): Anais do VI Congresso Latino-americano de Agroecologia; X Congresso Brasileiro de Agroecologia; V Seminário de Agroecologia do Distrito Federal e Entorno; 12 a 15 de setembro de 2017, Brasília/DF. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1646>. Acesso em: 01 nov. 2023.

SOUSA, J. R. **Influência da utilização do lixo orgânico urbano como fonte de biofertilizante e composto para o desenvolvimento de ipê-mirim (Tecoma stans) com duas lâminas de irrigação**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, p 01-07, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100800/sousa_jr_dr_jabo.pdf?sequence=1. Acesso em: 22 mai. 2022.

SOUZA, F.; SILVA, I.; PELLIN, D.; BERGAMIN, A.; SILVA, R. Características agronômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 110-116, 2015. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2383/1069>. Acesso em: 30 mar. 2023.

TEODORO, M. S.; PEREIRA, A. M. L. Aproveitamento de resíduos de pescado na confecção de composto orgânico para produção de mudas de alface. **Engenharia Sanitária e Ambiental**

[online], v. 26, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220180172>. Acesso em: 20 ago. 2023.

TONETI, N. A.; ARANTES, E. J.; CAXAMBU, M. G.; GODINHO, J. P. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no desenvolvimento de espécimes vegetais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas. **Revista DAE**, v. 68, p. 117-131, 2019. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_227_n_1918.pdf. Acesso em: 2 de maio de 2023.

VIDOTTI, R. M.; LOPES, I. G. Resíduos Orgânicos Gerados na Piscicultura. **Pesquisa & Tecnologia**. v.13, p. 1-6, 2016. Disponível em: <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2017/janeiro-junho-5/1729-compostagem-organica-metodo-eficiente-para-a-gestao-de-residuos-de-animais-da-aquicultura/file.html>. Acesso em: 30 mai. 2023.

4. CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE A PARTIR DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIAS

A piscicultura contribui significativamente para o aumento da sedimentação de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, em grande parte proveniente de dietas formuladas. Os organismos aquáticos retêm 13% de carbono, 29% de nitrogênio e 16% de fósforo da dieta, e o restante é acumulado no fundo dos viveiros (Avnimelech & Ritvo, 2003). Essa deposição de nutrientes no fundo do viveiro, originada de restos de materiais usados na dieta dos peixes, possui potencial para uso agrícola, em virtude da presença de nutrientes que são de interesse para os solos, em geral.

Dessa forma, o artigo 2º apresentou o processo de coleta, caracterização e aplicação inicial de sedimentos oriundos de tanques de produção de tilápias, em estágio adulto. Neste capítulo, o segundo objetivo específico foi cumprido: Coletar, processar e caracterizar os sedimentos gerados em tanques de cultivo de tilápia. Ademais, iniciou-se o cumprimento dos objetivos específicos restantes.

4.1 Artigo de Pesquisa (Formatado conforme Revista *Observatório de La Economía Latinoamericana*)

DOI: 10.55905/oelv23n6-019

ISSN: 1696-8352

Recebimento dos originais: 02/05/2025

Aceite para publicação: 26/05/2025

Produção de fertilizante a partir de sedimentos de tanques de tilápias

Fertilizer production from tilapia pond sediments

Producción de fertilizantes a partir de sedimentos de estanques de tilápia

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Especialista em Energias Renováveis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Maracanaú – Ceará, Brasil

eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Mestre em Energias Renováveis

USP - Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos

São Carlos – São Paulo, Brasil

icaroaderaldo16@gmail.com

Tiago de Abreu Lima

Mestre em Energias Renováveis

Universidade Federal do Ceará - UFC

Fortaleza – Ceará, Brasil

tiago.abrlm@gmail.com

Rifandreo Monteiro Barbora

Mestre em Energias Renováveis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Maracanaú – Ceará, Brasil

rifandreo@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Maracanaú – Ceará, Brasil

vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Letícia Kenia Bessa de Oliveira

Doutora em Agronomia/Fitotecnia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Maracanaú – Ceará, Brasil

leticia.kbo7@gmail.com

Stelamaris de Oliveira Paula Marinho

Doutora em Bioquímica
 Universidade Federal do Ceará - UFC
 Fortaleza – Ceará, Brasil
 stelamarisop@live.com

Franklin Aragão Gondim

Doutor em Bioquímica
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
 Maracanaú – Ceará, Brasil
 aragaofg@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo objetivou desenvolver um método de processamento dos sedimentos gerados nos tanques de produção da tilápia (*Oreochromis niloticus*) visando o aproveitamento como fertilizante orgânico aplicado ao cultivo de girassol. A etapa de cultivo vegetal foi conduzida em casa de vegetação. Foram avaliados parâmetros de crescimento e teores relativos de clorofila de plantas de *Helianthus annuus* L. (girassol). Foram utilizados cinco tratamentos, sendo três concentrações de sedimentos de tanques da produção de tilápia (equivalente a 80, 160 e 240 kg de N ha⁻¹), uma concentração de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e um grupo controle (ausência de biofertilizante). As plantas cultivadas sob suplementação com sedimentos apresentaram valores mais elevados na maioria das variáveis analisadas em relação aos tratamentos NPK e areia. Ressalta-se como destaque o tratamento suplementado à 240 kg N ha⁻¹ que demonstrou os resultados mais expressivos.

Palavras-chave: sedimentos de tanques, adubação, cultivo vegetal, tilápia.

ABSTRACT

The present study aimed to develop a method for processing the sediments generated in tilapia (*Oreochromis niloticus*) production tanks, with the goal of utilizing them as an organic fertilizer for sunflower cultivation. The plant cultivation stage was carried out in a greenhouse. Growth parameters and relative chlorophyll content of *Helianthus annuus* L. (sunflower) seedlings were evaluated. Five treatments were tested: three concentrations of tilapia tank sediments (equivalent to 80, 160, and 240 kg N ha⁻¹), one NPK treatment at 80 kg N ha⁻¹, and a control group (no biofertilizer application). Plants grown with sediment supplementation showed higher values in most of the analyzed variables compared to NPK and sand treatments. Notably, the treatment with 240 kg N ha⁻¹ of sediment supplementation presented the most significant results.

Keywords: tank sediments, fertilization, plant cultivation, tilapia.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un método para procesar los sedimentos generados en los tanques de producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*), con el fin de utilizarlos como fertilizante orgánico aplicado al cultivo de girasol. La etapa de cultivo vegetal se llevó a cabo en un invernadero. Se evaluaron parámetros de crecimiento y contenidos relativos de clorofila en plántulas de *Helianthus annuus* L. (girasol). Se utilizaron cinco tratamientos: tres concentraciones de sedimentos de tanques de tilapia (equivalentes a 80, 160 y 240 kg de N ha⁻¹), una concentración de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ y un grupo control (sin

aplicación de biofertilizante). Las plantas cultivadas con suplementación de sedimentos presentaron valores más altos en la mayoría de las variables analizadas en comparación con los tratamientos con NPK y arena. Se destaca el tratamiento con 240 kg de N ha⁻¹, que presentó los resultados más expresivos.

Palabras clave: sedimentos de tanques, fertilización, cultivo de plantas, tilapia.

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de pescado tem alcançado patamares de desenvolvimento com grande destaque no cenário nacional (LIMA, 2013). No ano de 2022, a produção de peixes de cultivo no Brasil alcançou a marca de 860.355 toneladas, resultando em uma receita estimada de aproximadamente R\$ 9 bilhões. Nos últimos anos, o setor registrou um aumento significativo, de 48,6%, passando de 578.800 toneladas em 2014 para o montante atual (PEIXE BR, 2023).

O Brasil ocupa o quarto lugar entre os maiores produtores globais de tilápia, sendo a espécie responsável por abranger 64% da produção total do país. Os peixes nativos, com destaque para o tambaqui, contribuem com 31% do total produzido nacionalmente, enquanto outras variedades representam 5% (PEIXE BR, 2023).

O aumento da produção e do consumo de pescado está diretamente ligado à necessidade de se viabilizar tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos gerados por essa indústria (LIMA, 2013). Os resíduos gerados pelo processamento de peixes podem representar tanto um desafio quanto uma oportunidade, dependendo de sua gestão. Se descartado de maneira inadequada, pode acarretar danos ambientais. Por outro lado, se tratado de forma apropriada, pode se transformar em uma oportunidade para a produção de subprodutos valiosos, como biofertilizantes, ração animal, entre outros (GONÇALVES, 2024). Dessa forma, destaca-se a importância de buscar alternativas para ampliar o aproveitamento desses materiais.

A piscicultura adiciona material orgânico e inorgânico à coluna de água por meio da liberação de fezes, excreções, sobras de alimentos, descamações, mucos, vitaminas e medicamentos, que podem afetar a qualidade da água (SIPAÚBA-TAVARES *et al.*, 1999). O material orgânico proveniente da aplicação de fertilizantes, excreções dos peixes e restos de ração não consumidos se acumula no fundo dos tanques, criando sedimentos carregados de nutrientes.

Logo, técnicas de reutilização desses resíduos, que favoreçam o aproveitamento por completo do peixe e que promovam práticas sustentáveis na piscicultura, são necessárias. Uma das potenciais formas de utilização desse resíduo é a produção de fertilizantes orgânicos. Tal

fato pode ser justificado pela elevada concentração de Nitrogênio e outros elementos que podem ser empregados na nutrição vegetal (RIBEIRO *et al.*, 2020).

Ademais, destaca-se que os atributos físicos, como a granulometria e superfície de contato, dos substratos são tão importantes quanto os atributos químicos, pois interferem diretamente na absorção de nutrientes (EMBRAPA, 2005). Dessa forma, um dos desafios no aproveitamento de resíduos da piscicultura na adubação vegetal se dá pelas suas características físicas que são muitas vezes incompatíveis com a nutrição vegetal, fazendo-se necessário a busca por soluções para tal problemática.

Como modelo vegetal de estudo, o girassol (*Helianthus annuus* L.) apresenta importantes características de destaque. Este vegetal, além de possuir grande potencial para produção de biocombustíveis, seu cultivo é possível em quase todo o território brasileiro devido à sua boa capacidade de aclimação aos diferentes climas e solos (SOARES *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2015).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método de processamento dos sedimentos gerados nos tanques de produção da tilápia (*Oreochromis niloticus*) visando o aproveitamento como fertilizante orgânico aplicado ao cultivo de girassol. Dessa forma, buscou-se identificar a concentração de sedimento que proporcionou melhor crescimento de plantas de girassol, sendo o crescimento avaliado por meio de medições de altura, diâmetro do caule, número de folhas e teores relativos de clorofila durante o cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO E PREPARO DO SEDIMENTO

O resíduo orgânico gerado na produção de *Oreochromis niloticus* (tilápia), foi fornecido pelo Laboratório de Tecnologia do Pescado da Estação de Piscicultura do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) localizado na cidade de Pentecoste no estado do Ceará. O sedimento foi obtido a partir da secagem e coleta direta em tanque de produção de tilápias, em estágio adulto e reprodutivo, conforme Figura 1.

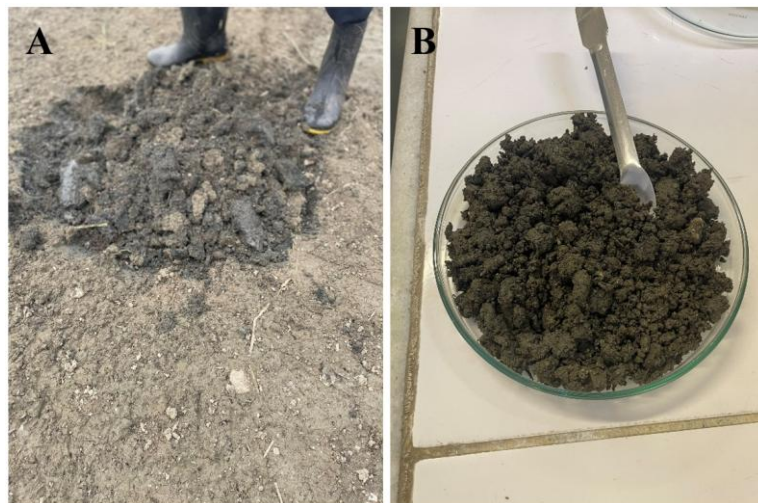
Figura 1. Tanque de produção de tilápias pós secagem, DNOCS (Pentecoste-CE).



Fonte: Autores 2023.

Inicialmente, o sedimento foi exposto a sol pleno para secagem e posteriormente foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C para redução de umidade, conforme Figura 2.

Figura 2. Amostra do sedimento *in natura* (A) e após secagem (B).



Fonte: Autores, 2023.

Em seguida, o material seco foi submetido a trituração para diminuição da granulometria, com a utilização de um moinho elétrico e um multiprocessador. Em seguida, o material foi submetido a peneiração (Figura 3), adotando-se para uso como fertilizante o material que passou na peneira com abertura de dois milímetros, sendo este armazenado em sacos plásticos selados.

Figura 3. Amostra do sedimento após peneiração.



Fonte: Autores, 2023.

2.2 ANÁLISE DO MATERIAL

Amostra do sedimento utilizado foram encaminhadas para análises químicas, onde foi determinado a concentração total de nitrogênio (N), os resultados posteriores foram empregados nos cálculos de quantidades de resíduos a serem acrescidas aos substratos de cultivo vegetal. As concentrações de sedimentos utilizadas foram dimensionadas a partir da recomendação nutricional de nitrogênio para a cultura do girassol, encontrada no Comunicado Técnico da Embrapa nº 78 (Embrapa, 2007), que é 80 kg de N ha⁻¹.

2.3 CULTIVO DE PLANTAS

A etapa de cultivo vegetal foi conduzida em casa de vegetação, ambiente isolado com estrutura coberta por nylon, situada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará campus de Maracanaú, município localizado na região metropolitana de Fortaleza-CE, com clima classificado como tropical quente subúmido (FUNCEME, 2007), durante o mês de dezembro de 2023. Inicialmente, diferentes concentrações de sedimentos de tanques de produção de tilápias (STT) foram testadas a fim de descobrir a mais eficiente.

O teste consistiu em utilizar um substrato arenoso acrescentado com diferentes concentrações de STT, substrato arenoso acrescentado de fertilizante comercial e o substrato

arenoso sem nenhum acréscimo de material (controle), assim os tratamentos ficaram subdivididos conforme Quadro 1.

A semeadura ocorreu em vasos plásticos de 5 litros, preenchidos com areia de granulometria fina, como classifica a NBR 6.502 (ABNT, 1995). O experimento foi conduzido com cinco repetições por tratamento, sendo cada uma constituída por um vaso com cinco sementes. Foi realizada a rega diária com uso de regador manual durante todo o período de cultivo vegetal, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo de cada substrato, foi realizada verificação diária da massa de cada vaso para reposição das percas por evapotranspiração.

Aos 7 dias após a semeadura (DAS), realizou-se o desbaste, mantendo-se cada tratamento com cinco repetições e duas plântulas por vaso.

Quadro 1. Tratamentos utilizados no experimento.

DENOMINAÇÃO	SUBSTRATO	ADUBAÇÃO
AREIA (controle)	Areia fina	-
NPK	Areia fina	Formulação NPK à 80 kg N ha ⁻¹
STT 80	Areia fina	STT - 80 kg N ha ⁻¹
STT 160	Areia fina	STT - 160 kg N ha ⁻¹
STT 240	Areia fina	STT - 240 kg N ha ⁻¹

Fonte: Autores, 2023.

2.4 PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E TEORES RELATIVOS DE CLOROFILA

Os parâmetros biométricos analisados foram o diâmetro do caule, altura da planta e número de folhas, juntamente com os teores relativos de clorofila da planta. As avaliações de crescimento foram efetuadas aos 14 e 21 dias após a semeadura. O diâmetro foi medido com a utilização de um paquímetro digital (modelo Aço Inox Lee Tools Mod. 684132).

A altura foi mensurada utilizando-se uma régua graduada desde nível do solo até a gema apical. O número de folhas foi obtido a partir de contagem direta em cada planta. Os teores relativos de clorofila foram determinados na primeira folha completamente expandida, a contar do ápice com o auxílio de medidor portátil (modelo Minolta SPAD – 502, Osaka, Japão).

Após a realização das análises os dados passaram por tabulação utilizando o Excel. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) e os gráficos, gerados através do programa *Sigma Plot 11.0*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISES DO SEDIMENTO

Após processamento, amostras do sedimento foram submetidas a análises químicas, nas quais obtiveram-se os resultados conforme tabela 1.

Tabela 1. Resultados analíticos do sedimento.

pH (CaCl₂)	<i>Un</i>	6.5
Ca	<i>cmolc/dm³</i>	7.8
Mg	<i>cmolc/dm³</i>	2.4
Ca+Mg	<i>cmolc/dm³</i>	10.2
Al	<i>cmolc/dm³</i>	0.00
H+Al	<i>cmolc/dm³</i>	1.0
CTC	<i>cmolc/dm³</i>	11.76
P (Mehlich I)	<i>mg/dm³</i>	63.0
K	<i>cmolc/dm³</i>	0.563
K	<i>mg/dm³</i>	220
Na	<i>mg/dm³</i>	3
Cu	<i>mg/dm³</i>	3.8
Fe	<i>mg/dm³</i>	35
Mn	<i>mg/dm³</i>	103
Zn	<i>mg/dm³</i>	5.3
Mat. Org.	<i>%</i>	3.5
Mat. Org.	<i>g/kg</i>	35.0
Sat. Al (M%)	<i>%</i>	0
Sat. Base (V%)	<i>%</i>	91
Ca/Mg	<i>.</i>	3.3
Ca/CTC	<i>%</i>	66.1
Mg/CTC	<i>%</i>	20.3
(H+Al)/CTC	<i>%</i>	8.5
K/CTC	<i>%</i>	4.8
N	<i>%</i>	0.18

Fonte: Terra Análises, 2023.

Dos resultados obtidos, o teor de nitrogênio foi adotado para a elaboração da composição dos substratos. Conforme a tabela 1, o sedimento apresentou em sua composição 0,18% de nitrogênio ou 1,8 g/kg N. O nitrogênio é um nutriente que compõe a estrutura de proteínas e aminoácidos, sendo determinante para o desenvolvimento vegetal, sendo requerido para a produtividade da cultura vegetal, além de desempenhar papel importante na formação de biomoléculas, clorofila e enzimas fundamentais para o crescimento da planta (BATISTA *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2020).

3.2 CRESCIMENTO VEGETAL

Para os teores relativos de clorofila (Figura 4A), aos 14 dias após a semeadura (DAS) os tratamentos acrescidos de sedimentos de tanques de produção de tilápias (STT) se destacaram, sendo superiores aos grupos areia e NPK. Além disso, o tratamento STT 240 apresentou o resultado mais expressivo com média 40,28 (índice SPAD). Destaca-se que todos os grupos diferiram estatisticamente entre si. Já aos 21 DAS, os grupos STT 160 e 240, assim como o tratamento NPK apresentaram resultados mais expressivos, não diferindo estatisticamente entre si. A média do grupo STT 240 foi de 33,63, seguido do NPK com 33,36 e STT 160 com 32,82. Os menores resultados foram observados nos grupos STT 80 com média 29,74, seguido do tratamento areia com média 27,82, que diferiram estatisticamente entre si.

Semelhantemente, Leonardo *et al.* (2013) observaram efeito significativo nos resultados de índice SPAD no cultivo de abacaxizeiro sob adubação nitrogenada. Reiterando a importância do nitrogênio como fator nutricional no cultivo vegetal.

Para a altura (Figura 4B), aos 14 DAS os tratamentos acrescidos de sedimentos de tanques de produção de tilápias (STT) se destacaram, sendo superiores aos grupos areia e NPK. A média do tratamento STT 240 foi de 9,90 cm, sendo o tratamento com resultado mais expressivo. Todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si. Aos 21 DAS, os tratamentos STT 160 e 240 apresentaram os resultados mais expressivos, ambos com média de 14 cm, sendo estatisticamente iguais. Os grupos NPK, STT 80 e areia apresentaram resultados menores, diferindo estatisticamente entre si. Corroborando com os resultados, Dantas *et al.* (2015) observaram incremento na altura de plantas de girassol adubadas com resíduo orgânico oriundo do processamento de mandioca.

O número de folhas (Figura 4C) aos 14 DAS mostrou-se superior nos tratamentos STT 160 e 240, bem como NPK, todos com média de 4 folhas por planta e sendo estatisticamente iguais e duas vezes maiores que os grupos STT 80 e areia, que foram estatisticamente iguais e

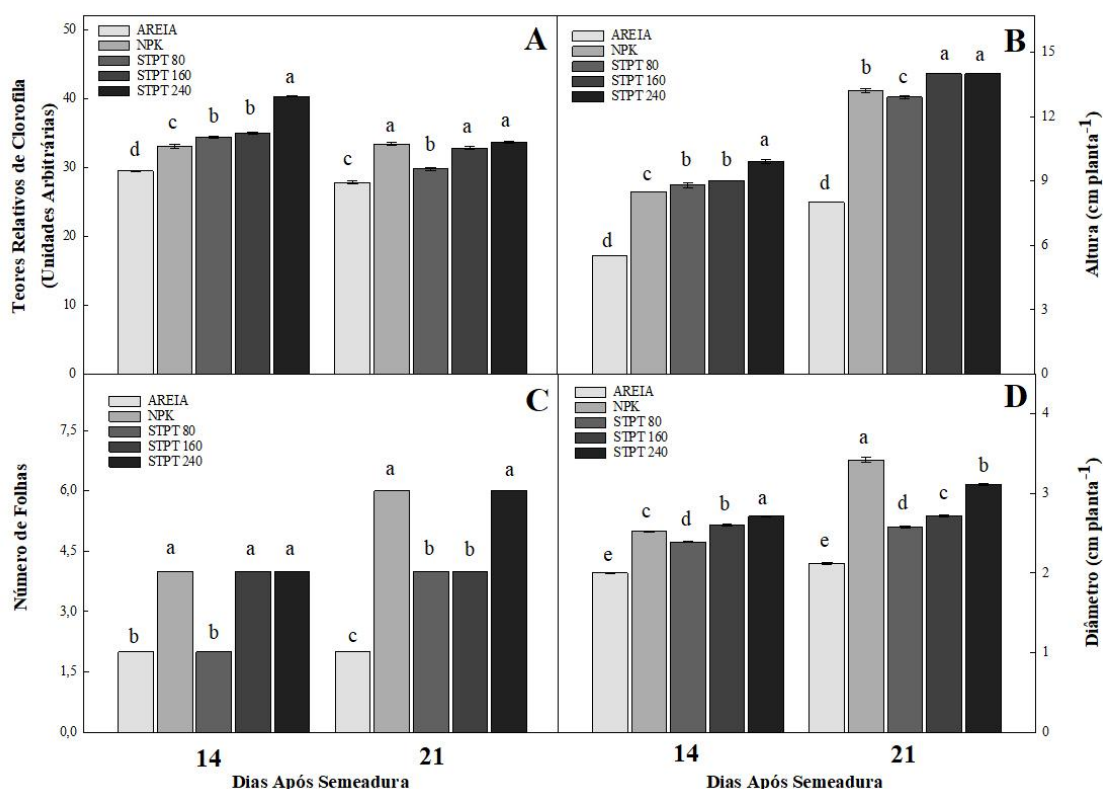
apresentaram média de 2 folhas por planta. Já aos 21 DAS, os tratamentos STT 240 e NPK se destacaram com média de 6 folhas, não diferindo estatisticamente entre si, seguidos pelos grupos STT 160 e 80, com média de 4 folhas e não diferindo estatisticamente entre si. Os menores valores para essa variável ocorreram no grupo areia que apresentou média de 2 folhas por planta, diferindo estatisticamente dos demais grupos.

Em convergência aos resultados obtidos, Bonela *et al.* (2015) testaram a resposta de cultivares de alface a diferentes fontes de matéria orgânica (cama de frango, esterco bovino, esterco suíno) e verificaram que a adubação orgânica com esterco de suíno e cama de frango proporcionou incrementos no número de folhas na espécie estudada.

Já para o diâmetro caulinar (DC) (Figura 4D), aos 14 DAS todos os grupos diferiram estatisticamente entre si e os resultados mais expressivos ocorreram no grupo STT 240 com média de 2,71 mm. Semelhantemente, Bonela *et al.* (2015) observaram que a adubação orgânica com esterco de suíno e cama de frango gerou incrementos nos resultados do diâmetro caulinar.

Ainda para o diâmetro do caule, aos 21 DAS o tratamento NPK apresentou maior média com de 3,42 sendo seguido pelos grupos suplementados com STT, enquanto o grupo areia apresentou os resultados menos expressivos. Todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si. Freitas *et al.* (2021) estudaram o cultivo de girassol em diferentes condições de adubação orgânica e mineral, e observaram que a formulação NPK mineral proporcionou incrementos em relação ao diâmetro caulinar, sendo superior à fonte orgânica. Nessa perspectiva é possível justificar os resultados obtidos, tendo em vista que na adubação mineral os nutrientes apresentam-se em forma mais prontamente disponíveis às plantas.

Figura 4. Teores relativos de clorofila (SPAD) (A), altura (cm planta⁻¹) (B), número de folhas (C) e diâmetro caulinar (mm planta⁻¹) (D) de plântulas de girassol, aos 14 e 21 dias após a semeadura (DAS), submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia, além de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e areia. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Valores seguidos por letras distintas numa mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os tratamentos, de acordo com teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para cada período (14 e 21 DAS) foi realizada uma análise estatística independente.



Fonte: Autores, 2023.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a maioria dos parâmetros avaliados os grupos suplementados com sedimentos de tanques de produção de tilápias apresentaram resultados semelhantes ou superiores quando em comparação com a adubação com NPK. Dessa forma, é possível verificar que utilização agrícola dos sedimentos oriundos da produção de tilápia do Nilo é uma alternativa viável para o aproveitamento total do pescado, propiciando um bom desenvolvimento das plantas, além de se configurar como uma destinação final ambientalmente adequada para os resíduos da indústria de pescados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelas bolsas concedidas. Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO PEIXE BR DA PISCICULTURA 2023. Associação Brasileira da Piscicultura (**Peixe BR**), 2023, São Paulo/SP – Brasil. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/>.
- BATISTA, V. V.; GIARETTA, R.; LINK, L.; GIACOMEL, C. L.; ADAMI, P. F. Densidades de plantas e níveis de nitrogênio no desempenho de híbridos de milho em safrinha. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 117-125, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6681>
- BONELA, G. D., SOUZA, H. O., GUIMARÃES, R. R., GOMES, E. J. C. RESPOSTA DE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TRES GRUPOS DE ALFACE. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [S. l.], v. 5, n. 2, 2015. DOI: 10.21206/rbas.v5i2.292. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2875>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- BRITO, P. O. B.; FERREIRA, G. D. S.; ADERALDO, F. Í. C.; BRAGA, J. D. F.; DE SOUZA, J. N.; GONDIM, F. A. Crescimento e teores relativos de clorofila em plantas de girassol suplementadas com algas mistas, *Hypnea pseudomusciformis* ou *Ulva fasciata*. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 533-537, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.9244>
- CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Adubação com NPK e irrigação do girassol em Luvisolo: Comportamento vegetativo. **Revista Ambiente & Água**, 2015.
- CASTRO, C. D.; FARIAS, J. D. Ecofisiologia do girassol. Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, v. 1, p. 501-546, 2005.
- DANTAS, M. S. M., ROLIM, M. M., DUARTE, A. DE S., PEDROSA, E. M. R., TABOSA, J. N., & DANTAS, D. DA C.. (2015). Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, 19(4), 350–357. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p350-357>
- FREITAS, G. Q. de .; TEIXEIRA, M. B. .; CABRAL FILHO, F. R. .; CUNHA, F. N. .; SILVA, N. F. da .; FAVARETO, R. .; ALVES, D. K. M. .; SOARES, F. A. L. .; VIDAL, V. M. . Sunflower cultivation under different conditions of organic and mineral fertilization. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e1010615395, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15395. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15395>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- GONÇALVES, A. A. Resíduos do processamento do pescado – Uma oportunidade a ser considerada. **Aquaculture Brasil**, 01 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/coluna/379/residuos-do-processamento-do-pescado-%E2%80%93-uma-oportunidade-a-ser-considerada>.
- LEONARDO, F. DE A. P., PEREIRA, W. E., SILVA, S. DE M., & COSTA, J. P. DA .. (2013). Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira De Fruticultura**, 35(2), 377–383. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200006>

LIMA, L. K. F. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado/ Leandro Kanamaru Franco de Lima – Palmas: **Embrapa Pesca e Aquicultura**, 2013. 28 p. : il. color. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400; 1). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90933/1/cnpasa.doc1.pdf>.

RIBEIRO, S. C. A.; PAULA, M. T.; CASTRO, J. S. O. Silagem ácida de resíduos de filetagem de duas espécies de peixes amazônicos para utilização em ração animal. **Revista Virtual de Química**, 2020.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MORAES, M. A. G.; BRAGA, F. M. S. Dynamics of some limnological characteristics in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) culture tanks as function of handling. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 4, p. 543-551, 1999. <https://www.scielo.br/j/rbbio/a/f4d7sS8sJMjzPnHwjfyJZ8x/?lang=en>

5. CAPÍTULO 3: APLICAÇÃO DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIA COMO FERTILIZANTE ESTIMULA O SISTEMA ENZIMÁTICO ANTIOXIDATIVO E REDUZ OS EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE GIRASSOL

A escassez hídrica é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento agrícola, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, pois compromete processos fisiológicos fundamentais como a fotossíntese e intensifica a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO), capazes de causar estresse oxidativo e danos celulares. Para sobreviver nessas condições, as plantas ativam um complexo sistema antioxidante, no qual enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX) e peroxidase do guaiacol (GPX) desempenham papel central na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (ERO) e na manutenção da integridade celular.

Nesse sentido, o artigo 3 apresenta a avaliação do crescimento e a atividade enzimática antioxidativa em plantas sob estresse, variáveis essenciais para compreender os mecanismos de aclimação e estratégias de mitigação dos efeitos da seca. Neste capítulo, tem-se o cumprimento parcial do 3º objetivo específico: testar o potencial do resíduo como fertilizante agrícola em plantas de girassol, sob estresse abiótico, por meio de análises de variáveis biométricas, teores relativos de clorofila, atividade enzimática antioxidativa e teores de solutos orgânicos.

5.1 Artigo de Pesquisa (Formatado conforme Revista Caderno Pedagógico)

DOI: 10.54033/cadpedv22n10-108

ISSN: 1983-0882

Recebimento dos originais: 11/07/2025

Aceite para publicação: 04/08/2025

Aplicação de sedimentos de tanques de tilápia como fertilizante estimula o sistema enzimático antioxidativo e reduz os efeitos deletérios do estresse hídrico em plantas de girassol

Application of tilapia pond sediments as fertilizer stimulates the antioxidant enzyme system and reduces the deleterious effects of water stress in sunflower plants

La aplicación de sedimentos de estanques de tilapia como fertilizante estimula el sistema enzimático antioxidante y reduce los efectos nocivos del estrés hídrico en las plantas de girasol

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Mestrando em Energias Renováveis

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental

Instituição: USP - Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil.

E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Tiago de Abreu Lima

Doutorando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil.

E-mail: tiago.abrlm@gmail.com

Rifandreo Monteiro Barbora

Mestre em Energias Renováveis

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: rifandreo@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Letícia Kenia Bessa de Oliveira

Doutora em Agronomia/Fitotecnia

Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil.

E-mail: leticia.kbo7@gmail.com

Stelamaris de Oliveira Paula Marinho

Doutora em Bioquímica

Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil.

E-mail: stelamarisop@live.com

Franklin Aragão Gondim

Doutor em Bioquímica

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: aragaofg@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo visou avaliar o potencial de fertilização de sedimentos gerados em tanques de produção de tilápias para o cultivo de plantas de girassol sob condições de estresse hídrico observando sua influência no crescimento vegetal e no sistema enzimático antioxidativo. A etapa de cultivo vegetal foi conduzida em casa de vegetação. Foram avaliados parâmetros de crescimento e teores relativos de clorofila de plântulas de *Helianthus annuus* L. (girassol) aos 28 dias após a semeadura e mensurada a atividade das enzimas antioxidantes catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX), peroxidase do ascorbato (APX) e superóxido dismutase (SOD). Foram utilizados cinco tratamentos, sendo três concentrações de sedimentos de tanques da produção de tilápia (equivalente a 80, 160 e 240 kg de N ha⁻¹), uma concentração de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e um grupo controle (ausência de biofertilizante). As plantas submetidas a suplementação com resíduos obtiveram incrementos significativos em seus crescimentos tanto em condições controle, quanto sob estresse hídrico. Os resultados obtidos podem ser atribuídos, pelo menos em parte, à capacidade dos sedimentos de tanques de tilápia em aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais e estimular as defesas antioxidantes das plantas.

Palavras-chave: Estresse abiótico. Crescimento. Fertilização. *Helianthus annuus* L. Resíduos.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the fertilization potential of sediments generated in tilapia production tanks for the cultivation of sunflower plants under water stress conditions, observing their influence on plant growth and the antioxidant enzyme system. The plant cultivation stage was conducted in a greenhouse. Growth parameters and relative chlorophyll contents of *Helianthus annuus* L. (sunflower) seedlings were evaluated 28 days after sowing, and the activity of the antioxidant enzymes catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) were measured. Five treatments were used, three concentrations of sediments from tilapia production tanks (equivalent to 80, 160 and 240 kg of N ha⁻¹), one concentration of NPK at 80 kg of N ha⁻¹ and a control group (absence of biofertilizer). Plants supplemented with residues showed significant increases in their development both under control conditions and under water stress. The results obtained can be attributed to the ability of sediments from tilapia tanks to increase the availability of essential nutrients and stimulate the antioxidant defenses of plants.

Keywords: Abiotic stress. Growth. Fertilization. *Helianthus annuus* L. Residues.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de fertilización de los sedimentos generados en tanques de producción de tilapia para el cultivo de plantas de girasol bajo

condiciones de estrés hídrico, observando su influencia en el crecimiento vegetal y el sistema enzimático antioxidante. La etapa de cultivo de las plantas se realizó en un invernadero. Se evaluaron los parámetros de crecimiento y el contenido relativo de clorofila de plántulas de *Helianthus annuus* L. (girasol) a los 28 días después de la siembra, y se midió la actividad de las enzimas antioxidantes catalasa (CAT), guayacol peroxidasa (GPX), ascorbato peroxidasa (APX) y superóxido dismutasa (SOD). Se utilizaron cinco tratamientos, tres concentraciones de sedimentos de tanques de producción de tilapia (equivalentes a 80, 160 y 240 kg de N ha⁻¹), una concentración de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ y un grupo control (ausencia de biofertilizante). Las plantas suplementadas con residuos mostraron aumentos significativos en su desarrollo tanto en condiciones control como bajo estrés hídrico. Los resultados obtenidos se pueden atribuir a la capacidad de los sedimentos de los tanques de tilapia para aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales y estimular las defensas antioxidantes de las plantas.

Palabras clave: Estrés abiótico. Crecimiento. Fertilización. *Helianthus annuus* L. Residuos.

1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil caracteriza-se pelos baixos índices pluviométricos. Como resultado, os efeitos causados pelo estresse hídrico acarretam em mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas (Campos; Santos; Nacarath, 2021). Logo, destaca-se a importância de se buscar um manejo adequado que otimize as áreas agricultáveis existentes e estimule a utilização racional dos insumos.

Dentre os recursos utilizados pelas plantas considera-se que a água é o mais requerido e, ao mesmo tempo, o mais frequentemente limitante. Assim, a escassez de chuvas representa um dos maiores obstáculos ao desenvolvimento da agricultura em áreas áridas e semiáridas. Nessas condições, as plantas podem sofrer déficit hídrico tanto pela pouca oferta de água no solo, onde ocorre a absorção pelas raízes, quanto por perdas excessivas de água associadas às altas taxas de evapotranspiração (Taiz *et al.*, 2017; Isalam *et al.*, 2021).

Em resposta ao déficit hídrico, as plantas geralmente iniciam o fechamento dos estômatos para restringir a perda de água por transpiração. Essa ação, entretanto, limita a entrada de CO₂ na folha, reduzindo a taxa de fotossíntese. Em consequência, pode haver um aumento na fotorrespiração. A escassez de CO₂ durante a fase bioquímica da fotossíntese compromete a oxidação do NADPH no ciclo de Calvin-Benson, diminuindo a regeneração de NADP⁺, que é essencial na fase fotoquímica. Como resultado, os elétrons da ferredoxina reduzida no fotossistema I podem ser desviados para o oxigênio molecular, intensificando a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Li, Chang & Pei, 2023; Chaves, 2009; Flexas, 2006).

Vários estresses abióticos, como o déficit hídrico, levam à superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs) em plantas, que são altamente reativas e tóxicas e causam danos a proteínas, lipídios, carboidratos e DNA, o que acaba resultando em estresse oxidativo. Para minimizar esses danos, as plantas ativam seu maquinário de defesa antioxidativo, que protege contra os efeitos nocivos das EROs. Esse sistema inclui mecanismos enzimáticos de defesa, com destaque para as enzimas superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT), a peroxidase do ascorbato (APX) e a peroxidase do guaiacol (GPX), que atuam em conjunto na eliminação das EROs, controlando as cascatas de oxidação descontrolada e preservando a integridade das células vegetais (Wang *et al.*, 2024).

As EROs também influenciam a expressão de vários genes e, portanto, controlam muitos processos, como crescimento, ciclo celular, morte celular programada, respostas ao estresse abiótico, defesa contra patógenos, sinalização sistêmica e desenvolvimento. Nesse sentido, é importante destacar que os antioxidantes mencionados acima são encontrados em quase todos os compartimentos celulares, demonstrando a importância da desintoxicação de EROs, quando estas são produzidas em altas concentrações, para a sobrevivência celular (Zheng *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a aplicação de sedimentos de tanques de tilápia (STT) no cultivo de plantas pode ser uma alternativa para estimular a retenção hídrica e favorecer o desenvolvimento vegetal, reduzindo os impactos da seca e os custos com adubação. Os STT originam-se a partir do material orgânico proveniente da aplicação de fertilizantes, excreções dos peixes e restos de ração não consumidos se acumula no fundo dos tanques, criando sedimentos carregados de nutrientes (Sipaúba-Tavares *et al.*, 1999; Ribeiro *et al.*, 2020).

A crescente busca por fontes de energia renovável tem impulsionado o interesse pelo cultivo do girassol (*Helianthus annuus* L.) como matéria-prima para a produção de biocombustíveis, devido ao seu elevado teor de óleo e adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas. Entretanto, fatores abióticos, como o estresse hídrico, podem comprometer significativamente o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura, afetando aspectos morfológicos e fisiológicos essenciais para a formação de biomassa e acúmulo de óleo (Castro; Farias, 2005; Amaral *et al.*, 2024).

Nesse cenário, o presente estudo visou avaliar o potencial de fertilização de sedimentos gerados em tanques de produção de tilápias para o cultivo de plantas de girassol sob condições de estresse hídrico, observando sua influência no crescimento vegetal e no funcionamento do

sistema enzimático antioxidativo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024, em casa de vegetação pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú. O local está situado na zona 24M, com coordenadas geográficas aproximadas de 543.134,88 m E e 9.571.988,43 m S. A região apresenta temperatura média anual de 27 °C, clima tropical quente subúmido e período chuvoso concentrado entre os meses de janeiro e maio (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará -IPECE, 2017).

Para a composição dos substratos, utilizou-se areia de granulometria fina, previamente peneirada em malha de cinco milímetros, à qual foram incorporados sedimentos de tanques de tilápia (STT). Os STT foram obtidos a partir da secagem e coleta direta em tanque de produção de tilápias, em estágio adulto e reprodutivo, tendo sido fornecidos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), por meio do Laboratório de Tecnologia do Pescado localizado no município de Pentecoste, estado do Ceará. As sementes de girassol, da cultivar BRS 323, foram cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), unidade de Londrina, Paraná.

Após a coleta, os STT foram submetidos à secagem ao sol, em ambiente aberto, por aproximadamente três dias. Em seguida, o material passou por secagem complementar em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60 °C, por um período de 24 horas. Finalizada a etapa de secagem, o material foi triturado com o auxílio de um moinho elétrico e de um multiprocessador. Posteriormente, o material moído foi peneirado em malha com abertura de dois milímetros, resultando em um pó de granulometria fina. Após processamento, amostras do sedimento foram submetidas a análises químicas e, dos resultados obtidos, o teor de nitrogênio foi adotado para a elaboração da composição dos substratos, tendo o sedimento apresentado em sua composição 0,18% de nitrogênio ou 1,8 g/kg N.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, composto por cinco repetições, sendo cada repetição composta por um vaso contendo duas plantas, dispostos em arranjo fatorial 2×5 , sendo dois tratamentos hídricos (Controle Irrigado - CI: com irrigação plena; Déficit Hídrico – DH: irrigação suspensa aos 20 dias após a semeadura – DAS), conforme Quadro 1.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos do experimento.

DENOMINAÇÃO	SUBSTRATO	IRRIGAÇÃO	ADUBAÇÃO
AREIA - CI	Areia fina	Irrigação plena	Ausência
AREIA - DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	Ausência
NPK – CI	Areia fina	Irrigação plena	Formulação NPK à 80 kg N ha ⁻¹
NPK – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	Formulação NPK à 80 kg N ha ⁻¹
STT 80 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 80 kg N ha ⁻¹
STT 80 – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 80 kg N ha ⁻¹
STT 160 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 160 kg N ha ⁻¹
STT 160 – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 160 kg N ha ⁻¹
STT 240 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 240 kg N ha ⁻¹
STT 240 - DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 240 kg N ha ⁻¹

Fonte: Elaborado pelos autores

Realizou-se a rega diária com uso de regador manual durante todo o período de cultivo vegetal, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo de cada substrato, sendo realizada verificação diária da massa de cada vaso para reposição das percas por evapotranspiração. Aos 7 DAS, realizou-se o desbaste, mantendo-se cada tratamento com cinco repetições e duas plântulas por vaso. Aos 20 dias após a semeadura houve suspensão de irrigação nos grupos DH, com duração total de 10 dias.

As variáveis biométricas analisadas foram o diâmetro do caule, altura da planta e número de folhas, juntamente com os teores de clorofila da planta. As avaliações de crescimento foram efetuadas aos 28 DAS, com 8 dias de suspensão de irrigação. Já a coleta das plantas ocorreu aos 30 DAS, onde foram obtidas as amostras frescas de folhas e raízes para as avaliações das atividades enzimáticas.

O diâmetro caulinar foi medido com a utilização de um paquímetro digital (modelo Aço Inox Lee Tools Mod. 684132). A altura foi mensurada utilizando-se uma régua graduada desde nível do solo até a gema apical. O número de folhas foi obtido a partir de contagem direta em cada planta. Os teores relativos de clorofila foram determinados na primeira folha completamente expandida, a contar do ápice, com o auxílio de medidor portátil (modelo Minolta SPAD – 502, Osaka, Japão).

Para a mensuração da atividade das enzimas antioxidantes catalase (CAT), peroxidase do guaiacol (GPX), peroxidase do ascorbato (APX) e superóxido dismutase (SOD), foram inicialmente preparados extratos a partir de folhas e raízes frescas. O processo consistiu na maceração de 1 g de tecido vegetal (massa fresca) em nitrogênio líquido, utilizando almofariz

e pistilo, até obtenção de um pó fino. Em seguida, foram adicionados 4,0 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), contendo 0,1 mM de EDTA e 1 mM de ácido ascórbico. O material macerado foi filtrado em tecido de náilon com malha fina e centrifugado a 10.000 g por 15 minutos a 4 °C. O sobrenadante obtido foi utilizado nas análises enzimáticas.

A atividade da CAT foi determinada conforme Havir e McHale (1987), pela redução da absorbância a 240 nm, associada ao consumo de H₂O₂. A atividade da GPX seguiu o método descrito por Kar e Mishra (1976), monitorando-se o aumento da absorbância a 470 nm em função da formação de tetraguaiacol. A atividade da APX foi quantificada pelo método de Nakano e Asada (1981), observando-se o decréscimo da absorbância a 290 nm, relacionado à oxidação do ascorbato. Por fim, a atividade da SOD foi medida conforme Beauchamp e Fridovich (1971), com base na leitura da absorbância a 560 nm, decorrente da formação de formazana azul pela fotorredução do p-nitrobluetetrazolium (NBT).

As atividades enzimáticas foram expressas em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de massa fresca (MF) para as enzimas CAT, APX e GPX. Já a atividade da SOD foi expressa em unidades de atividade enzimática (UA) por grama de MF, sendo uma UA definida como a quantidade de enzima necessária para inibir 50% da fotorredução do NBT.

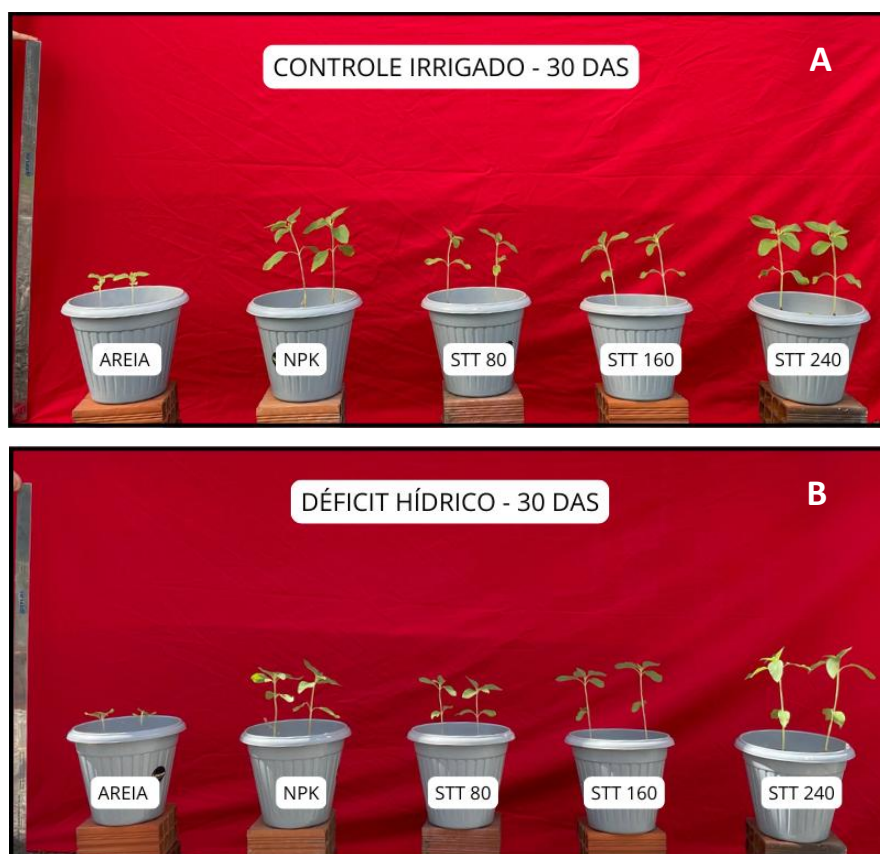
Após a realização das análises, os dados passaram por tabulação utilizando o Excel. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), enquanto as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) por meio do software SISVAR. Os gráficos foram gerados através do programa *Sigma Plot 12.0*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CRESCIMENTO

Aos 30 DAS, observou-se nos tratamentos contendo sedimentos de tanques de produção de tilápia (STT) um desenvolvimento aparente semelhante, ou ainda superior aos grupos NPK e areia, tanto sob condições normais de irrigação, quanto sob déficit hídrico, conforme Figura 1.

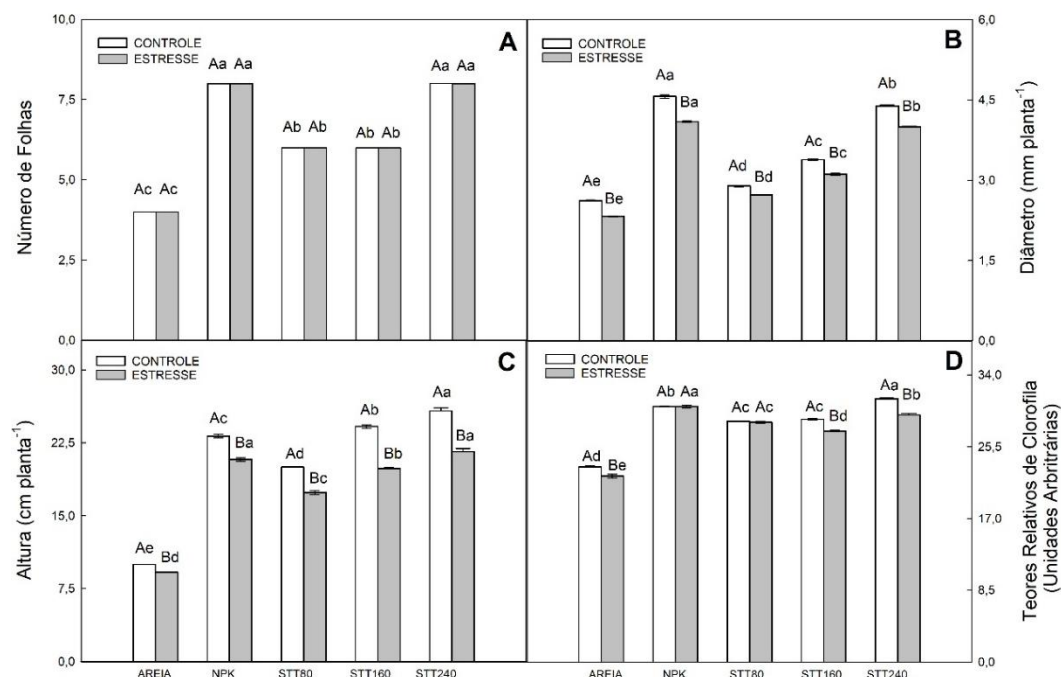
Figura 1. Plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura, sob condições controle (A) e déficit hídrico (10 dias de suspensão de irrigação) (B) submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia (STT), além de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e areia.



Fonte: Elaborado pelos autores

O número de folhas (Figura 2A), tanto em condições controle irrigado (CI) quanto de déficit hídrico (DH), mostrou-se superior nos tratamentos STT 240 e NPK, com média de 8 folhas por planta e sendo estatisticamente iguais e superiores aos demais grupos. Mutumba, Manuel & Mateus (2020) verificaram que a utilização de adubos orgânicos aumentou o número de folhas na cultura do milho.

Figura 2. Número de folhas (A), diâmetro caulinar (B), altura (C) e teores relativos de clorofila (D) de plantas de girassol aos 28 dias após a semeadura, sob condições controle e déficit hídrico (8 dias de suspensão de irrigação) submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia (STT), além de NPK a 80 kg de N ha⁻¹ e areia. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 8 dias de suspensão de irrigação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tanto em condições CI quanto em condições DH, o diâmetro (Figura 2B), o tratamento NPK se destacou, com médias 4,57mm (CI) e 4,10mm (DH) sendo seguido pelo tratamento STT 240, que apresentou médias de 4,39mm (CI) e 4,00mm (DH), os tratamentos diferiram estatisticamente entre si e se apresentaram superiores aos demais grupos. Já para a altura (Figura 2C), os grupos suplementados com sedimentos de tanques de tilápia se destacaram, sendo os resultados mais expressivos observados no tratamento STT 240, com médias 25,80cm (CI) e 21,60cm (DH), que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos e se apresentou superior aos demais grupos. Destaca-se ainda que o estresse causado pelo déficit hídrico ocasionou menores resultados em relação ao controle irrigado para todos os grupos nessa condição, com diferença estatística para todos.

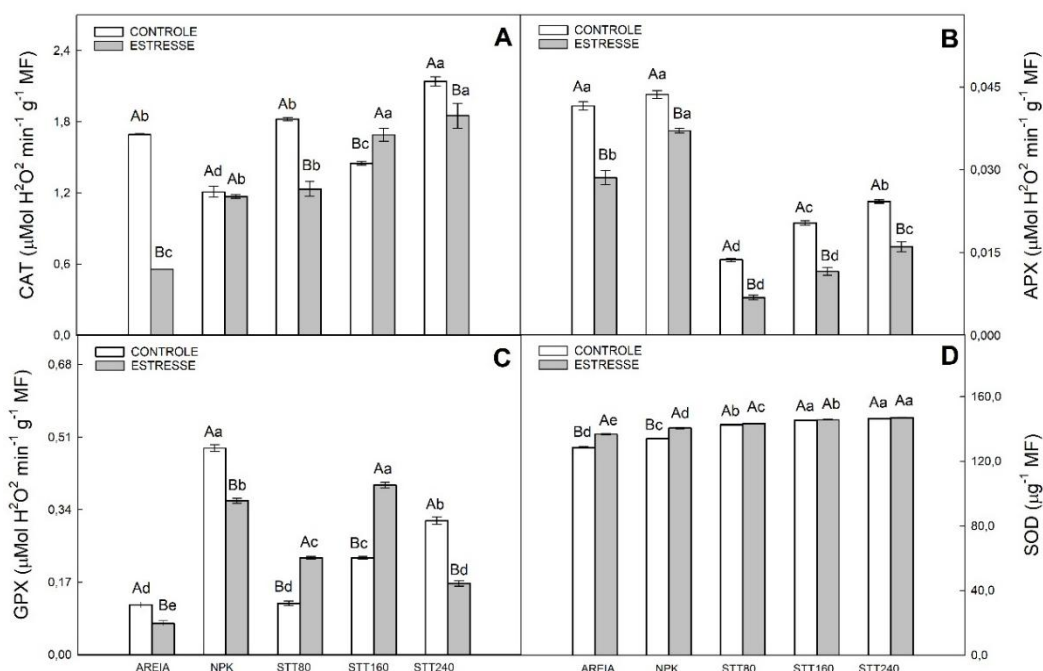
Corroborando com os resultados obtidos, Hussain *et al.* (2025), estudaram a resposta morfofisiológica e bioquímica de plantas de girassol sob estresse hídrico, observando que a incorporação de biochar e fertilizantes nitrogenados mitigou os impactos negativos e melhorou o rendimento e as variáveis de crescimento. Ainda Shah *et al.* (2023), observaram que fontes de fertilizantes orgânicos ocasionaram melhorias no rendimento e no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), sob estresse hídrico, incrementando a altura da planta, o diâmetro do caule e a área foliar, além de proporcionar melhorias nas propriedades do solo e na absorção de nutrientes.

Para os teores relativos de clorofila (Figura 2D), em condições CI o tratamento STT 240 se destacou com média 31,18UA, sendo seguido pelo NPK com média 30,28UA. Os tratamentos diferiram estatisticamente entre si e se apresentaram superiores aos demais grupos. Já em condições DH, o grupo com resultado mais expressivo foi o NPK com média 30,28UA, seguido pelo STT 240 com média 29,28UA. Considerando que o nitrogênio é fundamental para a síntese de clorofila, e a deficiência desse nutriente pode levar à redução desse pigmento nas folhas, é possível verificar que a concentração mais elevada desse nutriente favoreceu a síntese de clorofila. Semelhantemente, Hussain *et al.* (2025) ao estudarem a resposta morfofisiológica e bioquímica de plantas de girassol sob estresse hídrico, verificaram que a incorporação de biochar e fertilizantes nitrogenados mitigou os efeitos deletérios do estresse hídrico e proporcionou melhorias em diversas variáveis de desenvolvimento vegetal, incluindo os teores relativos de clorofila.

3.2 SISTEMA ENZIMÁTICO ANTIOXIDATIVO

A atividade da CAT nas folhas (Figura 3A) mostrou-se mais elevada no tratamento STT 240, tanto em condições CI quanto em DH, apresentando médias de $2,14 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (CI) e $1,85 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (DH), sendo superior aos demais grupos e diferindo estatisticamente em relação ao fator irrigação. O aumento na atividade da CAT observada no tratamento STT 240 pode indicar que o sedimento aplicado favoreceu a resposta antioxidativa da planta, elevando a atividade enzimática como mitigação ao estresse. Nunes *et al.* (2017) verificaram o aumento das atividades enzimáticas em plantas de girassol suplementas com percolato de aterro sanitário e submetidas a condições de estresse hídrico.

Figura 3. Atividade das enzimas catalase - CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em folhas de girassol de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura, sob condições controle e déficit hídrico (10 dias de suspensão de irrigação) submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia (STT), além de NPK a $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ e areia. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Verificou-se que a atividade da APX nas folhas (Figura 3B) foi menor nos tratamentos suplementados com sedimentos, tanto em condições CI quanto DH. Para os três grupos STT os valores se mantiveram abaixo de $0,03 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, havendo redução para os grupos em estresse hídrico. A APX é uma enzima chave no ciclo ascorbato-glutationa, responsável pela conversão do H_2O_2 em água, utilizando o ascorbato como doador de elétrons. Sua atividade é essencial para a manutenção do equilíbrio redox celular, especialmente em organelas como cloroplastos e mitocôndrias, onde a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) é intensa durante o estresse hídrico (Carvalho *et al.*, 2011; Sousa Júnior, 2024). A redução na atividade da APX observada em tratamentos com sedimentos pode indicar que essas plantas sofreram menor estresse oxidativo, possivelmente devido à mitigação dos efeitos do déficit hídrico proporcionada pela suplementação. Corroborando com os resultados obtidos, Hussain *et al.* (2025) verificaram que a utilização de biochar e fertilizantes nitrogenados em girassóis sob estresse hídrico resultou em uma redução significativa na atividade da APX, sugerindo uma menor necessidade de resposta antioxidante devido à mitigação do estresse.

A atividade da GPX nas folhas (Figura 3C), comparando o fator irrigação (controle irrigado versus déficit hídrico), verificou-se que nos tratamentos areia, NPK e STT 240 houve redução significativa da atividade enzimática sob estresse, entretanto, nos tratamentos STT 80 e STT 160 observou-se efeito contrário, com aumento da atividade sob estresse.

Ainda para a atividade da GPX nas folhas, sob a condição CI, observou-se tanto para os tratamentos de referência (areia e NPK) quanto para os grupos suplementados com resíduos, uma crescente na atividade da GPX à medida que aumentou a disponibilidade de nutrientes. Já sob a condição DH, os resultados apresentaram-se de forma semelhante, exceto para o tratamento STT 240, no qual houve decréscimo quando comparado aos tratamentos STT 80 e STT 160.

O aumento da atividade da GPX está diretamente associado à maior capacidade de eliminação de peróxidos, contribuindo para a proteção celular contra o estresse oxidativo (Sun *et al.*, 2017), além de atuar na lignificação e reforço das paredes celulares, aumentando a resistência das plantas (Rohela *et al.*, 2020). Esses resultados indicam que os resíduos orgânicos utilizados nos tratamentos STT 80 e STT 160 não apenas mitigaram os efeitos negativos da seca, mas também favoreceram o reforço estrutural e a detoxificação celular.

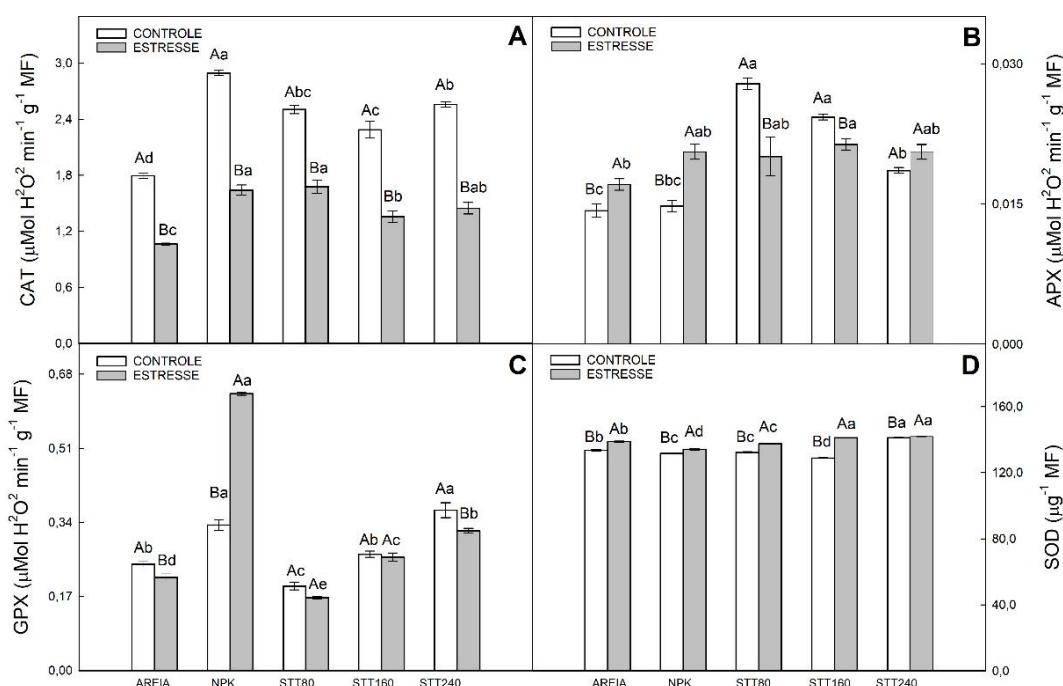
Por outro lado, a leve redução da atividade de GPX no tratamento STT 240 pode sugerir uma possível saturação do sistema antioxidante ou um redirecionamento metabólico, uma vez que os níveis ainda se mantêm relativamente elevados. Já a acentuada queda da atividade no tratamento areia sob estresse pode indicar uma falência do sistema antioxidante, compatível com o acúmulo de espécies reativas de oxigênio. Portanto, os dados reforçam o papel dos resíduos orgânicos como condicionantes bioativos, capazes de modular positivamente as enzimas antioxidantes em condições de déficit hídrico.

Para a atividade da SOD nas folhas (Figura 3D), tanto em condições CI quanto em DH, os tratamentos suplementados com sedimentos apresentaram os resultados mais expressivos. Ademais, não houve diferenças estatísticas entre os grupos controle e estresse dos tratamentos STT, indicando a manutenção do nível de atividade da SOD. Já para os tratamentos controle, areia e NPK, houve diferença estatística entre CI e DH e as maiores médias se apresentaram nos grupos sob estresse hídrico. A SOD converte o radical superóxido em peróxido de hidrogênio, servindo como substrato para as demais enzimas atuarem (Sousa Júnior, 2024). A redução na atividade da SOD nos tratamentos com sedimentos pode indicar que essas plantas sofreram menor estresse oxidativo, possivelmente devido à mitigação dos efeitos do déficit hídrico proporcionada pela suplementação.

Na Figura 4A, a atividade da CAT nas raízes mostrou-se mais elevada nos tratamentos fertilizados (NPK e STT), tanto em condições CI quanto em DH, com destaque para os tratamentos NPK e STT240, com o NPK apresentando médias de $2,90\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (CI) e $1,64\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (DH) e S240 com médias de $2,56\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$

(CI) e $1,45 \mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (DH), sendo superiores aos demais grupos e diferindo estatisticamente em relação ao fator irrigação. Para todos os tratamentos verificou-se a redução dos níveis de atividade sob estresse, destaca-se que os grupos suplementados com resíduos mantiveram níveis de atividade próximo ao NPK.

Figura 4. Atividade das enzimas catalase - CAT (A), peroxidase do ascorbato - APX (B), peroxidase do guaiacol - GPX (C) e superóxido dismutase - SOD (D) em raízes de girassol de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura, sob condições controle e déficit hídrico (10 dias de suspensão de irrigação) submetidas a diferentes concentrações de N a partir de sedimentos de tanques de produção tilápia (STT), além de NPK a $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ e areia. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Verificou-se que a atividade da APX, tanto em condições CI quanto DH, foi superior nos três grupos STT. Sob estresse hídrico, houve redução dos níveis de atividade, exceto para o tratamento STT 240, onde houve aumento, assim como para areia e NPK (Figura 4B). Semelhantemente ao observado nas folhas, a redução na atividade da APX nas raízes observada em tratamentos com sedimentos pode indicar que essas plantas sofreram menor estresse oxidativo, possivelmente devido à mitigação dos efeitos do déficit hídrico proporcionada pela suplementação.

Corroborando os resultados obtidos, Hussain *et al.* (2025) verificaram que a utilização de biochar e fertilizantes nitrogenados em girassóis sob estresse hídrico resultou em uma redução

significativa na atividade da CAT, APX e outras enzimas, sugerindo uma menor necessidade de resposta antioxidante devido à mitigação do estresse.

A atividade da GPX nas raízes, comparando o fator irrigação (controle irrigado versus déficit hídrico), verificou-se que nos tratamentos areia e STT houve manutenção ou leve redução da atividade enzimática sob estresse, entretanto, no tratamento NPK observou-se efeito contrário, com aumento da atividade sob estresse (Figura 4C). Ainda para a atividade da GPX nas raízes, tanto sob a condição CI quanto DH, observou-se tanto para os tratamentos de referência (areia e NPK) quanto para os grupos suplementados com resíduos, uma crescente na atividade da GPX à medida que aumentou a disponibilidade de nutrientes. Esses resultados indicam que os resíduos orgânicos utilizados não apenas mitigaram os efeitos negativos da seca, mas também favoreceram o reforço estrutural e a detoxificação celular.

Para a atividade da SOD nas raízes, tanto em condições CI quanto em DH, o tratamento STT 240 apresentou os resultados mais expressivos, apresentando aumento dos níveis de atividade sob estresse hídrico, diferindo estatisticamente em relação ao fator irrigação (Figura 4D). Corroborando com esses resultados, Gharred *et al.* (2022) relataram que a aplicação de biochar aumentou a atividade da SOD em plantas de colza (*Brassica napus* L.) sob estresse fortalecendo a defesa antioxidante.

Os resultados que demonstram o aumento da atividade da catalase são extremamente relevantes, pois evidenciam a ativação de uma resposta antioxidante robusta e eficiente. A CAT, ao reduzir rapidamente o excesso de H_2O_2 , protege a célula de danos oxidativos severos e assegura a continuidade de processos fisiológicos essenciais. Enquanto as enzimas APX e GPX estão envolvidas em um ajuste fino dos níveis de H_2O_2 , agindo de forma mais seletiva e localizada em determinados compartimentos celulares (como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos), a CAT atua de forma mais ampla e rápida, sendo capaz de remover grandes quantidades do peróxido acumulado. Isso confere à catalase um papel de destaque no controle da homeostase redox, especialmente sob condições de estresse intenso, como déficit hídrico, salinidade ou exposição a patógenos (Rao *et al.*, 2025).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da problemática proposta nesta pesquisa — avaliar o potencial de fertilização de sedimentos gerados em tanques de produção de tilápias para o cultivo de plantas de girassol sob condições de estresse hídrico — concluiu-se que o uso desse resíduo orgânico contribuiu significativamente para o crescimento das plantas e para a ativação do sistema enzimático

antioxidativo, mesmo em condições de estresse hídrico. Os resultados evidenciaram que os grupos suplementados com o sedimento apresentaram desempenho semelhante ou superior aos tratamentos convencionais com areia e fertilizante mineral (NPK), respondendo positivamente à hipótese de que o resíduo possui potencial biofertilizante.

Esses resultados têm implicações relevantes tanto para a sociedade quanto para a comunidade científica. Do ponto de vista social e ambiental, a reutilização de sedimentos de piscicultura como insumo agrícola oferece uma alternativa economicamente acessível e ambientalmente sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, promovendo a economia circular e o fortalecimento da agricultura em áreas com restrição hídrica. Academicamente, o estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre o uso de subprodutos da aquicultura na agricultura, especialmente em contextos de estresse abiótico, e reforça a importância do manejo integrado entre sistemas produtivos.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. Este estudo foi realizado em condições controladas e com tempo limitado de observação, o que pode não refletir com precisão a complexidade de ambientes agrícolas reais e de longo prazo. Além disso, a composição química do sedimento pode variar entre diferentes sistemas de piscicultura, o que pode influenciar os resultados. Recomenda-se, portanto, que pesquisas futuras explorem a aplicação desses sedimentos em escalas maiores e sob diferentes condições edafoclimáticas, avaliando seus efeitos a longo prazo no solo e nas plantas. Tais estudos serão fundamentais para consolidar o uso desse resíduo como uma prática agronomicamente eficaz e ambientalmente segura.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelas bolsas concedidas. Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. M.; SANTOS, M. Ângela C. M. dos .; TEIXEIRA, M. B. .; SOARES, F. A. L. .; BRITO, A. F. C. de . Influence of nitrogen fertilization on sunflower water deficit. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 13, n. 12, p. e179131247873, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i12.47873. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/47873>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- CARVALHO, F. E. L.; LOBO, A. K. M.; BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; LIMA NETO, M. C.; SILVEIRA, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [Internet]. 2011, Apr;15(4):416–23. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400014>. Acesso em: 10 de maio de 2025.
- CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil: competitividade das cadeias produtivas de matéria-prima. Brasília, DF: **Embrapa Agroenergia**, 2010. p. 375–420. Disponível em: ocl-journal.org. Acesso em: 02 de abril de 2025.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany, Oxford**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>. Acesso em: 4 de maio de 2025.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; CIFRE, J.; ESCALONA, J. M. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 148, n. 2, p. 125–131, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00198.x>. Acesso em: 4 de maio de 2025.
- GHARRED, J., DERBALI, W., DERBALI, I., BADRI, M., ABDELLY, C., SLAMA, I. Impacto da aplicação de biochar em períodos de escassez hídrica nos processos bioquímicos e fisiológicos de *Medicago ciliaris*. **Plants**. 11, 2411. doi: 10.339/plants11182411. Acesso em: 4 de maio de 2025.
- GILL, Sarvajeet Singh; TUTEJA, Narendra. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Volume 48, Issue 12, 2010, Pages 909-930, ISSN 0981-9428. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>. Acesso em: 01 de maio de 2025.
- 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, 2025. ISSN=1664-462X. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1541123>. Acesso em: 30 de maio de 2025.

LI, X-C.; CHANG, C.; PEI, Z-M. Reactive oxygen species in drought-induced stomatal closure: the potential roles of NPR1. **Plants**, Basel, v. 12, n. 18, p. 3194, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12183194>. Acesso em: 4 de maio de 2025.

MUTUMBA, F. A.; MANUEL, G. A.; MATEUS, A. S. Adubos orgânicos e organominerais como alternativa sustentável para a cultura do milho (*Zea mays* L.). RAC: **Revista Angolana de Ciências**, vol. 2, núm. 1, 2020. Associação Multidisciplinar de Investigação Científica. Disponível em: <https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/400/4001719013/index.html>. Acesso em: 28 de maio de 2025.

NUNES, F. H., GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. (2017). Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolato de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Revista Ambiente & Água**, 12(1), 71–86. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964>. Acesso em: 28 de maio de 2025.

PEREIRA FILHO, J. V. et al. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 327–333, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900006>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2025.

RAO, M.J.; DUAN, M.; ZHOU, C.; JIAO, J.; CHENG, P.; YANG, L.; WEI, W.; SHEN, Q.; Ji, P.; Yang, Y.; et al. Antioxidant Defense System in Plants: Reactive Oxygen Species Production, Signaling, and Scavenging During Abiotic Stress-Induced Oxidative Damage. **Horticulturae** 2025, 11, 477. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050477>

RIBEIRO, S. C. A.; PAULA, M. T.; CASTRO, J. S. O. Silagem ácida de resíduos de filetagem de duas espécies de peixes amazônicos para utilização em ração animal. *Revista Virtual de Química*, 2020. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2892>. Acesso em: 20 de abril de 2025.

ROHELA, G.K., MIR, M.Y., SHUKLA, P., SHABNAM, A.A. (2020). Newly Identified Phenolic Compounds from Different Plant Families. In: Lone, R., Shuab, R., Kamili, A. (eds) **Plant Phenolics in Sustainable Agriculture**. Springer, Singapore. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_7. Acesso em: 28 de maio de 2025.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MORAES, M. A. G.; BRAGA, F. M. S. Dynamics of some limnological characteristics in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) culture tanks as function of handling. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 4, p. 543-551, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbbio/a/f4d7sS8sJMjzPnHwjfyJZ8x/?lang=en>. Acesso em: 20 de abril de 2025.

SHAH, M. N.; WRIGHT, D. L.; HUSSAIN, S.; KOUTROUBAS, S. D.; SEEPAL, R.; GEORGE, S.; ALI, S.; NAVEED, M.; KHAN, M.; ALTAF, M. T.; GHAFFOR, K.; DAWAR, K.; SYED, A.; ESWARAMOORTHY, R. Biochar application improves plant tolerance to salinity stress by modulating antioxidant defense and soil properties: A review. **Journal of**

King Saud University – Science, [S. l.], v. 35, n. 4, art. 102585, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364723000320>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SUN, Y.; LINDBERG, S.; SHABALA, L.; MORGAN, S.; SHABALA, S.; JACOBSEN, E. A comparative analysis of cytosolic Na⁺ changes under salinity between halophyte quinoa (*Chenopodium quinoa*) and glycophyte pea (*Pisum sativum*). **Environmental and Experimental Botany**, Volume 141, 2017, Pages 154-160, ISSN 0098-8472. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.07.003>. Acesso em: 01 de junho de 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

WANG, P.; LIU, W. C.; HAN, C.; WANG, S.; BAI, M. Y.; SONG, C. P. Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. **Journal of Integrative Plant Biology**. 2024 Mar; 66(3); 330-367. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jipb.13601>. Acesso em: 22 de maio de 2025.

WU, Y.; WANG, X.; ZHANG, L.; ZHENG, Y.; LIU, X.; ZHANG, Y. The critical role of biochar to mitigate the adverse impacts of drought and salinity stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, art. 1163451, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163451>. Acesso em: 1 de junho de 2025.

ZHENG, C.; CHEN, J.-P.; WANG, X.-W.; LI, P. Reactive Oxygen Species in Plants: Metabolism, Signaling, and Oxidative Modifications. **Antioxidants**, 2025, 14, 617. <https://doi.org/10.3390/antiox14060617>

6. CAPÍTULO 4: SEDIMENTOS DE TANQUES DE TILÁPIAS COMO FERTILIZANTE INCREMENTAM O CRESCIMENTO E REDUZEM EFEITOS DELETÉRIOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLÂNTULAS DE GIRASSOL

O girassol (*Helianthus annuus* L.) apresenta elevado potencial agrônômico e energético, destacando-se por sua adaptabilidade, capacidade de explorar solos pobres e alto teor lipídico, o que o torna relevante tanto para a diversificação agrícola quanto para a produção de biocombustíveis. No entanto, em regiões semiáridas, o estresse hídrico compromete severamente seu crescimento, reduzindo a biomassa, a produtividade e a qualidade do óleo. Nesse contexto, os sedimentos de tanques de tilápia (STT) se mostram como alternativa sustentável, por serem ricos em matéria orgânica e nutrientes, favorecendo a retenção hídrica, a fertilidade do solo e o desenvolvimento vegetal.

A avaliação da biomassa fresca e seca é essencial para compreender o impacto do déficit hídrico, pois reflete diretamente o estado hídrico, a acumulação de carbono e o potencial produtivo da planta. Além disso, a análise dos teores de solutos orgânicos, como carboidratos e proteínas solúveis, fornece informações valiosas sobre os mecanismos de ajuste osmótico e tolerância ao estresse. Assim, o artigo 4º apresentou a avaliação da produção de biomassa (massa fresca e seca) aliado ao monitoramento dos teores de solutos orgânicos, variáveis importantes para compreender as respostas fisiológicas e bioquímicas do girassol sob déficit hídrico e para validar práticas de manejo mais resilientes e sustentáveis, como o uso de STT como fertilizante.

Neste capítulo, tem-se o cumprimento do 3º objetivo específico: testar o potencial do resíduo como fertilizante agrícola em plantas de girassol, sob estresse abiótico, por meio de análises de variáveis biométricas, teores relativos de clorofila, atividade enzimática antioxidativa e teores de solutos orgânicos.

6.1 Artigo de Pesquisa (Formatado conforme Revista Caderno Pedagógico)

DOI: 10.55905/oelv23n10-007

ISSN: 1696-8352

Recebimento dos originais: 01/09/2025

Aceite para publicação: 26/09/2025

Sedimentos de tanques de tilápias como fertilizante incrementam o crescimento e reduzem efeitos deletérios do estresse hídrico em plantas de girassol

Tilapia pond sediments as fertilizer increase growth and reduce the deleterious effects of water stress in sunflower plants

Los sedimentos de los estanques de tilapia como fertilizante aumentan el crecimiento y reducen los efectos nocivos del estrés hídrico en las plantas de girasol

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Mestrando em Energias Renováveis

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental

Instituição: USP - Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil.

E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Leticia Pinheiro Prado

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: leticia.pinheiro09@aluno.ifce.edu.br

Letícia Kenia Bessa de Oliveira

Doutora em Agronomia/Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil.

E-mail: leticia.kbo7@gmail.com

Stelamaris de Oliveira Paula Marinho

Doutora em Bioquímica

Instituição: Universidade Federal do Ceará - UFC

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil.

E-mail: stelamarisop@live.com

Roberto Albuquerque Pontes Filho

Doutor em Ciência do Solo

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: roberto@ifce.edu.br

Franklin Aragão Gondim

Doutor em Bioquímica

Instituição: IFCE - Instituto Federal do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil.

E-mail: aragaofg@yahoo.com.br

RESUMO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) apresenta elevado potencial agrônomo no Brasil, destacando-se pela adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, pelo uso múltiplo da biomassa e pelo elevado teor lipídico, sendo promissor para sistemas agrícolas sustentáveis e produção de biocombustíveis. Entretanto, o déficit hídrico, frequente em regiões semiáridas, compromete significativamente o crescimento, a produtividade e a qualidade do óleo. Nesse contexto, alternativas de manejo nutricional capazes de mitigar os efeitos do estresse hídrico torna-se necessários. Assim, destaca-se a utilização de sedimentos provenientes de tanques de tilápia (STT), ricos em matéria orgânica e nutrientes, com potencial para melhorar a fertilidade e a retenção hídrica do solo. Este trabalho avaliou a aplicação de diferentes doses de STT (80, 160 e 240 kg N ha⁻¹) no cultivo de girassol sob irrigação plena e sob déficit hídrico induzido aos 20 dias após a semeadura. Os resultados demonstraram que o déficit reduziu a produção de biomassa fresca e seca, bem como os teores de proteínas solúveis nas folhas e raízes. Contudo, a aplicação de STT, sobretudo na dose de 240 kg N ha⁻¹, promoveu incrementos significativos na biomassa e nos teores de carboidratos e proteínas solúveis, atenuando os efeitos da seca. Assim, o STT configura-se como biofertilizante sustentável e eficaz no manejo agrícola do girassol em ambientes com limitação hídrica.

Palavras-chave: solutos orgânicos, biomassa, *Helianthus annuus* L., cultivo.

ABSTRACT

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) has high agronomic potential in Brazil, standing out for its adaptability to different soil and climate conditions, its multiple biomass uses, and its high lipid content. It is promising for sustainable agricultural systems and biofuel production. However, water deficits, common in semiarid regions, significantly compromise growth, productivity, and oil quality. In this context, nutritional management alternatives capable of mitigating the effects of water stress are strategic. Among these, the use of sediments from tilapia ponds (STT) stands out, rich in organic matter and nutrients, with the potential to improve soil fertility and water retention. This study evaluated the application of different STT rates (80, 160, and 240 kg N ha⁻¹) in sunflower crops under full irrigation and under induced water deficit 20 days after sowing. The results showed that the drought reduced fresh and dry biomass production, as well as soluble protein levels in leaves and roots. However, the application of STT, particularly at a dose of 240 kg N ha⁻¹, promoted significant increases in biomass and soluble carbohydrate and protein levels, mitigating the effects of the drought. Thus, STT is a sustainable and effective biofertilizer for sunflower agricultural management in water-limited environments.

Keywords: organic solutes, biomass, *Helianthus annuus* L., cultivation.

RESUMEN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) tiene un alto potencial agronómico en Brasil, destacándose por su adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima, sus múltiples usos de biomasa y su alto contenido de lípidos. Es prometedor para sistemas agrícolas sostenibles y la producción de biocombustibles. Sin embargo, los déficits hídricos, comunes en regiones semiáridas, comprometen significativamente el crecimiento, la productividad y la calidad del aceite. En este contexto, las alternativas de manejo nutricional capaces de mitigar los efectos del estrés hídrico son estratégicas. Entre estas, se destaca el uso de sedimentos de estanques de tilapia (STT), ricos en materia orgánica y nutrientes, con potencial para mejorar la fertilidad del suelo y la retención de agua. Este estudio evaluó la aplicación de diferentes tasas de STT (80, 160 y 240 kg N ha⁻¹) en cultivos de girasol bajo riego completo y bajo déficit hídrico inducido 20 días después de la siembra. Los resultados mostraron que la sequía redujo la producción de biomasa fresca y seca, así como los niveles de proteína soluble en hojas y raíces. Sin embargo, la aplicación de STT, especialmente en una dosis de 240 kg N ha⁻¹, promovió aumentos significativos en la biomasa y los niveles de carbohidratos solubles y proteínas, mitigando los efectos de la sequía. Por lo tanto, el STT es un biofertilizante sostenible y eficaz para el manejo agrícola del girasol en entornos con escasez de agua.

Palabras clave: solutos orgánicos, biomasa, *Helianthus annuus* L., cultivo.

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como uma cultura de elevado potencial no Brasil, não apenas pela produção de biomassa com múltiplos usos (como forragem, melífera, ornamental e a geração de óleo para alimentação humana), mas também pela sua adaptabilidade agrônômica, com ciclo relativamente curto, sistema radicular profundo e capacidade de exploração de nutrientes em profundidade, especialmente em solos arenosos e de baixa fertilidade. Isso o torna uma excelente opção para sistemas de rotação ou sucessão de culturas no Cerrado e outras regiões, promovendo sustentabilidade do solo e diversificação da produção (Castro; Leite, 2018).

No semiárido nordestino brasileiro, a agricultura enfrenta desafios críticos: precipitação irregular, elevada variabilidade climática e solos pobres. Nesse cenário, práticas como irrigação eficiente e manejo são fundamentais para garantir produtividade econômica e sustentabilidade hídrica (Azevedo *et al.*, 2016). Embora o girassol seja considerado moderadamente tolerante ao estresse hídrico, especialmente pela profundidade de seu sistema radicular, o déficit hídrico durante a fase de floração impacta negativamente o rendimento, tanto em termos de sementes como de óleo (Chen *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2025).

A aplicação de sedimentos de tanques de peixes, como aqueles provenientes de tanques de tilápia, emerge como uma alternativa sustentável para incrementar a retenção hídrica do solo, melhorar sua fertilidade e estimular o crescimento vegetal, com potencial para reduzir tanto o estresse hídrico quanto os custos com fertilização. Esses sedimentos, ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e carbono, atuam como corretivos de solos degradados, estimulando a atividade microbiana, acelerando a mineralização de nutrientes e favorecendo o desenvolvimento vegetal (Luo *et al.*, 2025).

Por sua vez, o girassol (*Helianthus annuus* L.) continua ganhando destaque como matéria-prima promissora para produção de biocombustíveis, devido ao seu elevado teor lipídico (que pode variar entre 25 % e 48 %), adaptabilidade a diferentes ambientes edafoclimáticos e ciclos de cultivo relativamente curtos (Ameen *et al.*, 2025). No entanto, o estresse hídrico, especialmente quando severo ou prolongado, compromete significativamente tanto o rendimento (produção de sementes) quanto o teor e a qualidade do óleo.

No desenvolvimento vegetal, a produção de massa fresca indica estado hídrico imediato e crescimento turgor-dependente. A produção de massa seca, por sua vez, reflete acumulação de matéria orgânica (carbono) e é o preditor direto de produtividade final. Ambas estão intimamente ligadas ao metabolismo da planta e servem como indicadores diretos para avaliação do crescimento e produtividade. Em plantas sob déficit hídrico, a redução da biomassa fresca e seca mostra perda de crescimento, o que pode envolver fechamento estomático e menor assimilação de nutrientes. A avaliação de produção de biomassa é fundamental para entender o desenvolvimento vegetal, pois cada uma oferece informações distintas sobre o crescimento e a saúde da planta (Ashraf & Siddiqi, 2024; Munser *et al.*, 2025).

O impacto da deficiência hídrica nas plantas envolve uma complexa rede de respostas aclimatativas, não existindo um mecanismo universal de tolerância à seca. Diferentes grupos ecofisiológicos desenvolvem respostas específicas que os capacitam a enfrentar a escassez hídrica (dos Santos *et al.*, 2022). A resposta vegetal ao déficit de água é fortemente modulada pela intensidade, duração, frequência e momento do estresse, além das interações entre planta, solo e atmosfera, assim como das condições climáticas (Wang *et al.*, 2024).

Diante do déficit hídrico, notam-se respostas determinantes como a redução do teor de água, queda do potencial hídrico foliar, perda do turgor, fechamento estomático e a diminuição do crescimento celular. O monitoramento do estresse hídrico se mostra essencial para avaliar seus efeitos sobre o desenvolvimento e produtividade das plantas, os quais variam de acordo

com a fase de crescimento em que ocorrem (dos Santos *et al.*, 2022). O déficit hídrico também provoca alterações fisiológicas, morfológicas e bioquímicas, inclusive influenciando na síntese de osmoprotetores como prolina, açúcares solúveis, glicina-betaína, proteínas solúveis e outros (Wang *et al.*, 2024).

Nesse cenário, o presente estudo visou avaliar o potencial de fertilização de sedimentos gerados em tanques de produção de tilápias para o cultivo de plantas de girassol sob condições de estresse hídrico, observando sua influência na produção de biomassa fresca e seca e nos teores de solutos orgânicos (carboidratos e proteínas solúveis).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O resíduo orgânico gerado na produção de *Oreochromis niloticus* (tilápia), foi fornecido pelo Laboratório de Tecnologia do Pescado da Estação de Piscicultura do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) localizado na cidade de Pentecoste no estado do Ceará. O sedimento foi obtido a partir da secagem e coleta direta em tanque de produção de tilápias, em estágio adulto e reprodutivo.

O material foi exposto a sol pleno para secagem e posteriormente foi colocado em estufa com circulação forçada de ar à 60 °C para redução de umidade. Posteriormente, foi submetido a trituração para diminuição da granulometria, com a utilização de um moinho elétrico e um multiprocessador, em seguida, o material foi submetido a peneiramento, adotando-se para uso como fertilizante o material que passou na peneira com abertura de 2 mm. Após processamento, amostras do sedimento foram submetidas a análises químicas e, a partir dos resultados obtidos, o teor de nitrogênio foi adotado para a elaboração da composição dos substratos, tendo o sedimento apresentado em sua composição 0,18% de nitrogênio (1,8 g/kg N). As concentrações de sedimentos utilizadas foram dimensionadas a partir da recomendação nutricional de nitrogênio para a cultura do girassol, encontrada no Comunicado Técnico da Embrapa, 78, que é 80 kg de N ha⁻¹.

A etapa de cultivo vegetal foi conduzida em casa de vegetação, ambiente isolado com estrutura coberta por nylon, pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Maracanaú, município situado na região metropolitana de Fortaleza-CE, com clima classificado como tropical quente subúmido (FUNCEME, 2007), durante o mês de janeiro de 2024. A semeadura ocorreu em vasos plásticos de 5 litros, preenchidos com areia de granulometria fina, como classifica a NBR 6.502 (ABNT, 1995).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Cada tratamento foi composto por cinco repetições, sendo cada repetição um vaso contendo duas plantas, dispostos em arranjo fatorial 2x5, sendo dois tratamentos hídricos (com irrigação plena - Controle Irrigado - CI e irrigação suspensa aos 20 Dias Após a Semeadura – DAS - Déficit Hídrico – DH), conforme quadro 1. Foram semeadas 5 sementes de girassol, BRS 323, por vaso. Realizou-se a rega diária com uso de regador manual durante todo o período de cultivo vegetal, mantendo-se a umidade próxima a 70% da capacidade de campo de cada substrato, sendo realizada verificação diária da massa de cada vaso para reposição das perdas por evapotranspiração. Aos 7 dias após a semeadura (DAS), realizou-se o desbaste, mantendo-se cada tratamento com cinco repetições e duas plântulas por vaso. Após 20 dias os diferentes regimes hídricos foram iniciados, mantendo-se um grupo irrigado (Controle Irrigado – CI) e um grupo com de vasos com suspensão de irrigação por 10 dias (Déficit Hídrico – DH) para cada tratamento avaliado.

Quadro 1. Denominação dos tratamentos utilizados no experimento, sendo dois grupos hídricos (com irrigação plena - Controle Irrigado - CI e irrigação suspensa aos 20 Dias Após a Semeadura – DAS - Déficit Hídrico – DH).

DENOMINAÇÃO	SUBSTRATO	IRRIGAÇÃO	ADUBAÇÃO
AREIA - CI	Areia fina	Irrigação plena	Ausência
AREIA - DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	Ausência
NPK – CI	Areia fina	Irrigação plena	Formulação NPK à 80 kg N ha ⁻¹
NPK – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	Formulação NPK à 80 kg N ha ⁻¹
STT 80 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 80 kg N ha ⁻¹
STT 80 – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 80 kg N ha ⁻¹
STT 160 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 160 kg N ha ⁻¹
STT 160 – DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 160 kg N ha ⁻¹
STT 240 – CI	Areia fina	Irrigação plena	STT - 240 kg N ha ⁻¹
STT 240 - DH	Areia fina	Suspensão aos 20 DAS	STT - 240 kg N ha ⁻¹

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As plantas do experimento foram coletadas aos 30 DAS para avaliação da produção de matéria fresca da raiz (MFR), da parte aérea (MFPA) e total (MFT). Após a coleta, o material foi higienizado e separado em raízes, caules e folhas. Em seguida, cada componente (raiz, caule e folha) foi pesado individualmente em uma balança analítica para obtenção das medidas de matéria fresca. A matéria seca, por sua vez, foi obtida após secagem em estufa a 60 °C até atingir material com massa constante, resultando na obtenção da produção de matéria seca da

raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST). Destaca-se que as medidas da parte aérea de planta foram calculadas pelo somatório dos valores de caule, pecíolos e folhas.

Para a mensuração dos teores de carboidratos e proteínas solúveis, foram inicialmente preparados extratos a partir de folhas e raízes frescas. O processo consistiu na maceração de 1 g de tecido vegetal (massa fresca) em nitrogênio líquido, utilizando almofariz e pistilo, até obtenção de um pó fino. Em seguida, foram adicionados 4,0 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), contendo 0,1 mM. O material macerado foi filtrado em tecido de náilon com malha fina e centrifugado a 12.000 g por 15 minutos.

Os carboidratos solúveis foram analisados pelo método de Dubois *et al.* (1956), utilizando o reagente fenol-ácido sulfúrico, com leituras de absorbância a 490 nanômetros e D-glicose como padrão. Os teores de proteínas solúveis foram determinados pelo método de Bradford (1976), utilizando o reagente Coomassie Brilliant Blue G-250, com leituras de absorbância a 595 nanômetros e albumina sérica bovina como padrão.

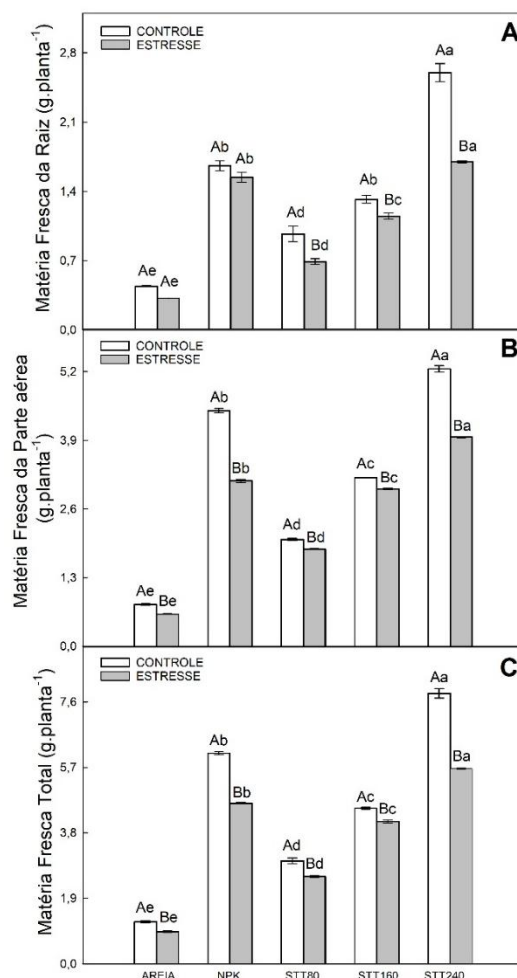
Após a realização das análises os dados passaram por tabulação utilizando o Microsoft Excel 2022. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) e os gráficos, gerados através do programa *Sigma Plot 12.0*. Os resultados estatísticos foram representados por letras inseridas nos gráficos, em que letras maiúsculas indicaram diferenças significativas em relação ao tipo de irrigação (controle e estresse), enquanto letras minúsculas as diferenças significativas entre os diferentes substratos (tratamentos mencionados anteriormente), conforme determinado pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA FRESCA

Observou-se que a suspensão da irrigação resultou em uma diminuição nas variáveis de matéria fresca, conforme figura 1. Para a matéria fresca da raiz (MFR), da parte aérea (MFPA) e total (MFT) verificou-se que o grupo suplementado com sedimento à 240 kg N ha⁻¹ (STT240) demonstrou resultados superiores em relação aos demais.

Figura 1. Matéria fresca da raiz (A), da parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para a MFR, sob condições controle os valores significativamente mais elevados foram registrados em plantas fertilizadas com sedimento à 240 kg N ha⁻¹, superando a média dos tratamentos com areia ou NPK em 494% e 57%, respectivamente. Enquanto que em cenários de estresse hídrico, esse aumento alcançou percentuais de 433% e 11% (Figura 1A).

No que tange à MFPA, destacaram-se as plantas cultivadas em substratos contendo sedimento à 240 kg N ha⁻¹, que demonstraram os maiores rendimentos, superando a média dos tratamentos com areia ou NPK. Em condições normais de irrigação, esse incremento foi, em média, de 568% e 18%, respectivamente, enquanto em condições de estresse hídrico, atingiu valores de 552% e 27% (Figura 1B).

Por fim, para a MFT, semelhantemente o tratamento STT240 se destacou e foi superior aos grupos sem adição de STT (areia e NPK). Em condições normais de irrigação, esse incremento foi, em média, de 541% e 28%, respectivamente, enquanto em condições de estresse hídrico, atingiu valores de 510% e 22% (Figura 1C).

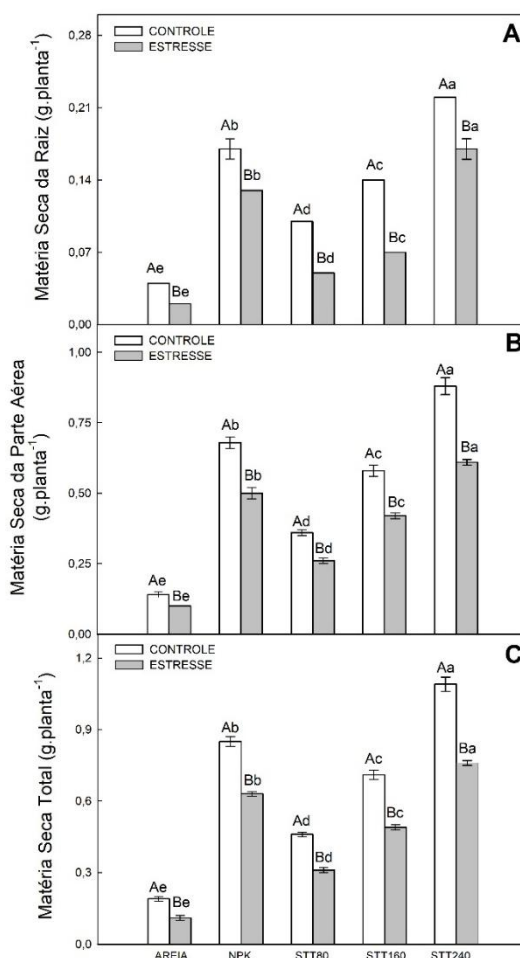
O incremento na produção de matéria fresca em plantas resulta de uma complexa interação entre fatores como disponibilidade hídrica, manejo nutricional, intensidade luminosa e condições climáticas (Shen *et al.*, 2023). Entender essas interações é essencial para otimizar a produção vegetal em sistemas agrícolas variados. Os resultados do presente experimento evidenciaram que a escassez de água resultou na diminuição da matéria fresca em plantas de girassol, ao passo que um fornecimento adequado de água favoreceu o crescimento vegetal.

Além disso, é importante destacar que a suplementação com STT mostrou-se capaz de proporcionar incrementos à produção de biomassa tanto em condições controle, quanto sob escassez hídrica. Sousa Filho *et al.* (2024) fizeram uso de sedimentos gerados em tanques de produção de tilápia para o cultivo de plantas de girassol e verificaram que em relação à produção de massa fresca os grupos suplementados com esse material obtiveram resultados superiores à areia e húmus.

3.2 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Semelhantemente aos resultados obtidos na produção de matéria fresca, observa-se que a suspensão da irrigação resultou em uma diminuição nas variáveis de matéria seca, conforme Figura 2. Para a matéria seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) é possível verificar que o grupo suplementado com sedimento à 240 kg N ha⁻¹ (STT240) apresentou resultados superiores em relação aos demais.

Figura 2. Matéria seca da raiz (A), da parte aérea (B) e total (C) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para a MSR, os valores significativamente mais elevados foram registrados em plantas fertilizadas com sedimento à 240 kg N ha⁻¹, superando a média dos outros tratamentos. Em condições de controle, em comparação com os tratamentos areia e NPK esse aumento médio foi de 390% e 25%, respectivamente, e em cenários de estresse hídrico, alcançou percentuais de 867% e 37% (Figura 2A).

Em relação à MSPA, os resultados mais expressivos foram observados nas plantas submetidas ao tratamento STT240, superando os grupos areia e NPK. Sob condições normais de irrigação, essa elevação média foi de 509% e 29%, respectivamente, enquanto em situações de escassez de água atingiu valores de 546% e 22% (Figura 2B).

Por fim, para a MST (Figura 2C), semelhantemente o tratamento STT240 se destacou e foi superior aos grupos controle (areia e NPK). Em condições normais de irrigação, esse incremento foi, em média, de 481% e 28%, respectivamente, enquanto em condições de estresse hídrico, atingiu valores de 597% e 25% (Figura 2C).

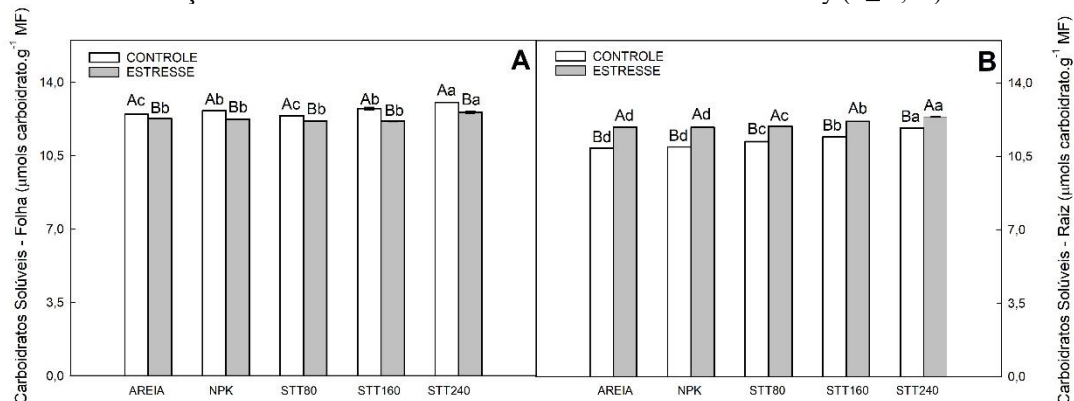
Corroborando com os resultados obtidos, Costa *et al.* (2021) avaliaram a produção de plantas de girassol sob estresse hídrico cultivadas com resíduo industrial de suplementação

animal e obtiveram resultados que demonstraram o incremento na produção de massa seca da parte aérea, da raiz e total. Ainda, Ribera *et al.* (2023) cultivaram alface e rúcula sob doses de esterco bovino e observaram incrementos de até 90% em relação a massa seca da parte aérea da alface. Por fim, Sousa Filho *et al.* (2024) aplicaram sedimentos gerados em tanques de produção de tilápia no cultivo de girassol e verificaram incrementos em relação à produção de massa seca.

3.3 TEORES DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS

Em relação aos teores de carboidratos nas folhas, observou-se que houve uma pequena redução dos resultados sob déficit hídrico para todos os grupos. Os resultados foram mais expressivos no tratamento STT240 com média de 13,03 $\mu\text{mols glicose.g}^{-1}\text{MF}$, sendo estatisticamente diferente dos demais. Sob déficit hídrico, a superioridade desse tratamento se repetiu e o STT240 apresentou média de 12,56 $\mu\text{mols glicose.g}^{-1}\text{MF}$, diferindo estatisticamente dos demais grupos (Figura 3A).

Figura 3. Teores de carboidratos solúveis nas folhas (A) e raízes (B) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O acúmulo de carboidratos solúveis atua como osmoprotetor, ajudando na manutenção do gradiente de potencial hídrico e na proteção das membranas e proteínas. As folhas geralmente apresentam maior sensibilidade e variação rápida no acúmulo de carboidratos solúveis sob estresse (hídrico, salino ou térmico) (Wang *et al.*, 2024; Shen *et al.*, 2023). Corroborando com os resultados encontrados, Aderaldo *et al.* (2024), aplicaram escamas de tilápias no cultivo de girassol sob déficit hídrico e verificaram incrementos nos teores de carboidratos solúveis.

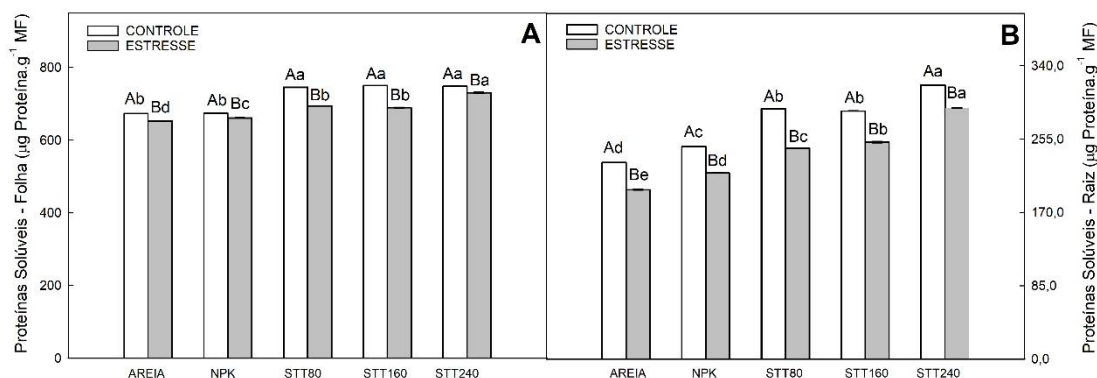
Já para os teores de carboidratos nas raízes, observou-se que houve leve aumento dos resultados sob déficit hídrico para todos os grupos. Os resultados foram mais expressivos no tratamento STT240, com média de 11,84 $\mu\text{mols carboidratos.g}^{-1}\text{MF}$ sendo estatisticamente diferente dos demais. Sob déficit hídrico, a superioridade desse grupo se manteve e o STT240 apresentou média de 12,38 $\mu\text{mols carboidratos.g}^{-1}\text{MF}$, diferindo estatisticamente dos demais grupos (Figura 3B). Semelhantemente, Aderaldo *et al.* (2024) aplicaram escamas de tilápias no cultivo de girassol sob déficit hídrico e verificaram que o estresse hídrico desencadeou o aumento nos teores de carboidratos solúveis como parte de um mecanismo aclimatativo, obtendo resultados superiores nos grupos suplementados com escamas.

Em relação a queda dos teores de carboidratos nas folhas sob déficit hídrico, é importante destacar que sob estresse o fechamento estomático reduz a absorção de CO_2 diminuindo a atividade carboxilase da enzima RUBISCO (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase), levando à menor síntese de carboidratos (Shen *et al.*, 2023). Além disso, parte dos carboidratos produzidos pode ser rapidamente consumida na respiração, em rotas antioxidativas e na produção de osmólitos como prolina e polióis (Figuerola *et al.*, 2021). Sob estresse, folhas tendem a mobilizar reservas para outros órgãos (raiz, sementes em enchimento), reduzindo o acúmulo local. Mesmo sob menor taxa fotossintética, pode ocorrer redirecionamento de açúcares das folhas para as raízes como estratégia aclimatativa. Os carboidratos acumulados nas raízes reduzem o potencial osmótico, ajudando a manter o fluxo de água no tecido radicular em solos secos (Wang *et al.*, 2024). Em suma, a planta prioriza o crescimento de raízes (em profundidade ou lateralmente) para explorar novos volumes de solo em busca de água. Nesse contexto, os resultados encontrados se configuram como parte de um mecanismo aclimatativo adotado pela espécie em estudo.

3.4 TEORES DE PROTEÍNAS SOLÚVEIS

Em relação aos teores de proteínas nas folhas (Figura 4A), observou-se que houve uma pequena redução no conteúdo sob déficit hídrico para todos os grupos. Em condições de controle, os resultados foram mais expressivos nos tratamentos suplementados com sedimentos com média de 748,18 $\mu\text{g proteína.g}^{-1}\text{MF}$, sendo estatisticamente iguais entre si. Já sob déficit hídrico, a superioridade ocorreu no grupo STT240 que apresentou média de 730,37 $\mu\text{g proteína.g}^{-1}\text{MF}$, diferindo estatisticamente dos demais grupos.

Figura 4. Teores de proteínas solúveis nas folhas (A) e raízes (B) de plantas de girassol aos 30 dias após a semeadura. As colunas representam os valores das médias de 5 repetições $\pm$ erro padrão. Colunas cinzas indicam 10 dias de suspensão de irrigação antes da avaliação (estresse hídrico). As letras maiúsculas indicam diferenças significativas ao tipo de irrigação (controle e estresse hídrico), enquanto as letras minúsculas indicam diferenças significativas em relação aos diferentes substratos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para os teores de proteínas solúveis nas raízes (Figura 4B), sob condições controle, os resultados foram maiores no tratamento STT240, com média de $317,40 \mu\text{g proteína.g}^{-1}\text{MF}$, sendo estatisticamente diferente dos demais. Sob escassez de água, a superioridade desse grupo se manteve e o STT240 apresentou média de $291,23 \mu\text{g proteína.g}^{-1}\text{MF}$, diferindo estatisticamente dos demais grupos.

Considerando os resultados obtidos, é válido destacar que a limitação de energia (menor fotossíntese e respiração) reduz a disponibilidade de ATP e esqueletos de carbono, comprometendo a síntese de proteínas solúveis em todos os órgãos (Shen *et al.*, 2023). Ademais, o estresse hídrico aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que oxidam proteínas estruturais e enzimáticas, levando à sua degradação por proteases (Kumar *et al.*, 2018). Proteínas como a RuBisCO (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase) são altamente sensíveis ao estresse hídrico, sofrendo inativação e degradação precoce, o que explica a queda marcante do teor proteico nas folhas. Além disso, como mostrado nos resultados anteriores (carboidratos solúveis), as raízes tendem a acumular carboidratos sob condições de seca; esse redirecionamento energético pode ocorrer em detrimento da síntese proteica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sedimentos de tanques de tilápia (STT) como biofertilizante orgânico ocasionou incrementos na produção de biomassa e nos teores de solutos orgânicos, tanto sob condições controle, quanto sob condições de estresse hídrico. Essa circunstância pode ter contribuído, pelo menos parcialmente, para atenuar os efeitos deletérios do estresse hídrico no

crescimento das plantas. A concentração ideal de STT foi identificada como sendo de 240 kg N ha⁻¹.

Nesse sentido, recomenda-se a utilização do STT como fertilizante. Além disso, destaca-se a viabilidade do reuso desse resíduo, não só pela imediata redução dos impactos ambientais e sociais correlatos, mas também pela contribuição a sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelas bolsas concedidas. Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) pelo apoio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- ADERALDO, F. ÍCARO C., LIMA, T. DE A., SOUSA FILHO, E. DO N. DE, ABREU, V. DOS S., MARINHO, S. DE O. P., & GONDIM, F. A. (2024). Escama de tilápia como fertilizante aumenta os teores de solutos orgânicos e diminui os efeitos deletérios do estresse hídrico em plantas de girassol. *Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente*, 17, e12423. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n.Especial.e12423>
- AMEEN, M.; ULLAH, I.; QURESHI, M. A.; ALI, H.; SHAH, K.; ALI, Q.; IQBAL, M.; EL-SHARKAWY, H. H.; RAZA, A.; SALEEM, M. H.; EL-ESAWI, M. A.; MAHMOOD, T. Exogenous application of selenium on sunflower (*Helianthus annuus* L.) to enhance drought stress tolerance by morpho-physiological and biochemical adaptations. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, Article 1427420, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1427420/full>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.
- ASHRAF, F.; SIDDIQI, E.H. Mitigation of drought-induced stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) via foliar application of Jasmonic acid through the augmentation of growth, physiological, and biochemical attributes. *BMC Plant Biol.* 2024 Jun 22;24(1):592. doi: 10.1186/s12870-024-05273-4. Acesso em: 01 de setembro de 2025.
- AZEVEDO, B. M.; VASCONCELOS, D. V.; BOMFIM, G. V.; VIANA, T. V. DE A.; NASCIMENTO NETO, J. R. DO.; OLIVEIRA, K. M. A. S. Production and yield response factor of sunflower under different irrigation depths. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 20(5), 427–433, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p427-433>. Acesso em: 01 de setembro de 2025.
- CASTRO, C; LEITE, R.M.V.B.C. Main aspects of sunflower production in Brazil. OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 25 1 (2018) D104. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017056>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.
- CHEN, X.; ZHANG, H.; TENG, A.; ZHANG, C.; LEI, L.; BA, Y.; WANG, Z. Photosynthetic characteristics, yield and quality of sunflower response to deficit irrigation in a cold and arid environment. *Front Plant Sci.* 2023 Nov 17;14:1280347. doi: 10.3389/fpls.2023.1280347. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.
- DOS SANTOS, T.B.; RIBAS, A.F.; DE SOUZA, S.G.H.; BUDZINSKI, I.G.F.; DOMINGUES, D.S. Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review. *Stresses* 2022, 2, 113-135. <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.
- EBRAHIMIAN, E.; SEYYEDI, S. M.; BYBORDI, A.; DAMALAS, C. A. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, v. 218, p. 149–157, 2019. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.03.031. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419305773>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.
- FIGUEROA, F.; LADEYRO, A. F.; CARRILLO, N.; GOMEZ, R. Meta-analysis reveals key features of the improved drought tolerance of plants overexpressing NAC transcription factors. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 186, 2021, 104449, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104449>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

KUMAR, S.; SACHDEVA, S.; BHAT, K.; VATS, S. (2018). Plant Responses to Drought Stress: Physiological, Biochemical and Molecular Basis. **Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants**, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326837813_Plant_Responses_to_Drought_Stress_Physiological_Biochemical_and_Molecular_Basis. Acesso em: 20 de agosto de 2025.

MUNSER, L.; SATHYANARAYANAN, K.K.; RAECKE, J.; MANSOUR, M.M.; ULAND, M.E.; STREIF, S. Precise and Continuous Biomass Measurement for Plant Growth Using a Low-Cost Sensor Setup. **Sensors** 2025, 25, 4770. <https://doi.org/10.3390/s25154770>. Acesso em: 31 de Agosto de 2025.

LUO, Z.; ZHANG, Z.; GUO, Y.; LV, L.; CHEN, D.; DUAN, J. Effects of Fish Pond Sediment on Quality of Saline–Alkali Soil and Some Vegetables: Water Spinach, Lettuce, and Chili. **Agronomy** 2025, 15, 1670. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071670>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.

RIBERA, L. M.; CECILIO FILHO, A. B.; PERES, N. D.; SANTANA, D. C.; SILVA, M. L. Lettuce and arugula production in intercropping and organic fertilization. **Revista Caatinga**, 2023, 36(4), 794–801. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n407r>. Acesso em: 31 de Agosto de 2025.

SHEN, J.; WANG, X.; SONG, H.; WANG, M.; NIU, T.; LEI, H. Physiology and transcriptomics highlight the underlying mechanism of sunflower responses to drought stress and rehydration. **iScience**. 2023 Oct 2;26(11).Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108112>. Acesso em: 31 de Agosto de 2025.

SILVA, O.B.; CASTRO, E.M.; VASSURA, Y.; PIRES, M. V.; CARVALHO, C. G. P.; CARVALHO, L. M.; PEREIRA, M. P. Root system morphoanatomy of sunflower genotypes under water deficit. **BMC Plant Biol** 25, 449 (2025). Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06468-z>. Acesso em: 18 de Agosto de 2025.

SOUSA FILHO, E. N.; Aderaldo, F.; Carvalho, G.; Ferreira, G.; Mesquita, M.; Gondim, F. (2024). CULTIVO DE PLANTAS DE GIRASSOL SUPLEMENTADAS COM RESÍDUOS DE TANQUES DE PRODUÇÃO DE TILÁPIA. **Nativa**. 12. 241-248. 10.31413/nat.v12i2.15586. Acesso em: 23 de maio de 2025.

WANG C.L., ZHOU X.L., QIN J., WANG X.Y., YU H., ZHU Q., LEE D.S., AND CHEN L.J.. Comprehensive response mechanisms of plants to water deficit: a physiological, biochemical, molecular, and ecological review, **Molecular Soil Biology**, 2024. 15(5): 205-215 (doi: 10.5376/msb.2024.15.0021). Acesso em: 01 de agosto de 2025.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a adição de sedimentos de tanques de produção de tilápia (STT) ao cultivo de plantas de girassol promoveu melhorias significativas no crescimento das plantas, tanto em condições controle (com irrigação) quanto em situações de déficit hídrico

Na primeira etapa do estudo, foi desenvolvido um método de processamento do STT para aplicação como fertilizante. Além disso, foi conduzida uma análise comparativa entre diferentes concentrações de STT para o cultivo de girassol. Os resultados indicaram que, nas condições experimentais empregadas, a aplicação de STT resultou em incrementos nas variáveis de crescimento analisadas, tais como altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, teor de clorofila, destacando-se a concentração de STT a 240 Kg de N ha⁻¹ como a mais eficaz.

Já na segunda etapa, avaliou-se o potencial de fertilização de STT para o cultivo de plantas de girassol sob condições de estresse hídrico. Os resultados revelaram que o reaproveitamento do resíduo na forma de biofertilizante orgânico é eficaz e proporcionou incrementos nas variáveis de crescimento analisadas, tais como altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, teor de clorofila tanto sob irrigação constante quanto em condições de déficit hídrico. Ademais, o STT contribuiu significativamente para a ativação do sistema enzimático antioxidativo, atenuando os efeitos oriundos do déficit hídrico.

Por fim, na última etapa, observou-se influência do STT na produção de biomassa fresca e seca e nos teores de solutos orgânicos (carboidratos e proteínas solúveis) em plantas de girassóis sob condições de estresse hídrico. Os resultados demonstraram que o STT proporcionou incrementos na produção de biomassa e nos teores de solutos orgânicos, tanto sob condições controle, quanto sob condições de estresse hídrico.

Nessa perspectiva, conclui-se que o STT pode ter contribuído, pelo menos parcialmente, para atenuar os efeitos deletérios do estresse hídrico no crescimento das plantas. A concentração ideal de STT foi identificada como sendo de 240 kg N ha⁻¹. Além disso, destaca-se que a reutilização de sedimentos de piscicultura como insumo agrícola oferece uma alternativa economicamente acessível e ambientalmente sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, promovendo a economia circular e o fortalecimento da agricultura em áreas com restrição hídrica.

ANEXOS

Anexo 1: Capa da publicação do artigo 1 na Revista DELOS, Curitiba, v. 17, n. 62, p. 01-22, 2024.



DOI: 10.55905/rdelosv17.n62-177
ISSN: 1988-5245

Originals received: 11/19/2024
Acceptance for publication: 12/12/2024

Aproveitamento de resíduos orgânicos como fertilizante no cultivo vegetal

Use of organic waste as fertilizer in vegetable cultivation

Utilización de residuos orgánicos como abono en el cultivo de plantas

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Especialista em Meio Ambiente e Saneamento Básico
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Mestre em Energias Renováveis
Instituição: Universidade de São Paulo
Endereço: São Carlos – São Paulo, Brasil
E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Tiago de Abreu Lima

Mestre em Energias Renováveis
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: tiago.abrLM@gmail.com

Rifandreo Monteiro Barbosa

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: rifandreo@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Leticia Pinheiro Prado

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Endereço: Maracanaú – Ceará, Brasil
E-mail: leticia.pinheiro09@aluno.ifce.edu.br

Anexo 2: Capa da publicação do artigo 2 na Revista *Observatório de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v.23, n.6, p. 01-16. 2025.



Produção de fertilizante a partir de sedimentos de tanques de tilápias

Fertilizer production from tilapia pond sediments

Producción de fertilizantes a partir de sedimentos de estanques de tilápia

DOI: 10.55905/oelv23n6-019

Receipt of originals: 5/2/2025

Acceptance for publication: 5/26/2025

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Especialista em Energias Renováveis

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Mestre em Energias Renováveis

Instituição: Universidade de São Paulo (USP) - Campus de São Carlos

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Tiago de Abreu Lima

Mestre em Energias Renováveis

Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil

E-mail: tiago.abrlm@gmail.com

Rifandreo Monteiro Barbora

Mestre em Energias Renováveis

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: rifandreo@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Anexo 3: Capa da publicação do artigo 3 na Revista Caderno Pedagógico, Curitiba, v.22, n.10, p.01-21.2025.



Anexo 4: Capa da publicação do artigo 4 na Revista *Observatório de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v.23, n.10, p. 01-18. 2025.



Sedimentos de tanques de tilápias como fertilizante incrementam o crescimento e reduzem efeitos deletérios do estresse hídrico em plantas de girassol

Tilapia pond sediments as fertilizer increase growth and reduce the deleterious effects of water stress in sunflower plants

Los sedimentos de los estanques de tilapia como fertilizante aumentan el crecimiento y reducen los efectos nocivos del estrés hídrico en las plantas de girasol

DOI: 10.55905/oelv23n10-007

Receipt of originals: 9/1/2025

Acceptance for publication: 9/26/2025

Elias do Nascimento de Sousa Filho

Especialista em Energias Renováveis

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: eliasnfilho@gmail.com

Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo

Mestre em Energias Renováveis

Instituição: Universidade de São Paulo (USP) - campus de São Carlos

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: icaroaderaldo16@gmail.com

Vivian dos Santos Abreu

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: vivian.abreu06@aluno.ifce.edu.br

Leticia Pinheiro Prado

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – campus Maracanaú

Endereço: Maracanaú, Ceará, Brasil

E-mail: leticia.pinheiro09@aluno.ifce.edu.br