



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

SEVERINO CAMPOS OLIVEIRA NETO

**SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DO *Litopenaeus vannamei* E DAS
PLANTAS HALÓFITAS *Batis marítimas*, *Salicornia neei* E *Sesuvium portulacastrum*,
EM DIFERENTES SALINIDADES, EM ÉPOCA DE BAIXA PLUVIOSIDADE NO
CEARÁ**

FORTALEZA

2023

SEVERINO CAMPOS OLIVEIRA NETO

SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DO *Litopenaeus vannamei* E DAS PLANTAS
HALÓFITAS *Batis Marítimas*, *Salicornia neei* E *Sesuvium portulacastrum*, EM
DIFERENTES SALINIDADES, EM ÉPOCA DE BAIXA PLUVIOSIDADE NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, nível Mestrado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Orientadora: Prof.a Dr.a. Carminda Sandra Brito Salmito-Vanderley.
Coorientador: Prof. Dr. Oriel Herrera Bonilla's.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O1s Oliveira Neto, Severino Campos.
Sistema aquapônico no cultivo do *Litopenaeus vannamei* e das plantas halófitas
Batis marítimas, *Salicornia neei* e *Sesuvium portulacastrum*, em diferentes salinidades, em
época de baixa pluviosidade no Ceará / Severino Campos Oliveira Neto. – 2023.
49 f.: il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Carminda Sandra Brito Salmito-Vanderley.
Coorientação: Profa. Dra. Oriel Herrera Bonilla's.

1. Aquaponia. 2. Hálofitas. 3. Carcinicultura. 4. Qualidade de água. I. Título.

CDD 639. 2

SEVERINO CAMPOS OLIVEIRA NETO

SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DO *Litopenaeus vannamei* E DAS PLANTAS
HALÓFITAS *Batis Marítimas*, *Salicornia neei* E *Sesuvium portulacastrum*, EM
DIFERENTES SALINIDADES, EM ÉPOCA DE BAIXA PLUVIOSIDADE NO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, nível Mestrado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.a Dr.a. Carmina Sandra Brito Salmito-Vanderley (Orientadora)
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.a Dr.a. Jordana Sampaio Leite
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, pela bolsa de pesquisa, sem qual não seria possível a execução desse trabalho.

A Prof.a Dr.a. Carminda Sandra Brito Salmito-Vanderley, pela valorosa orientação e estímulo para enriquecimento da minha vida profissional.

Ao Professor doutor Oriel Herrera Bonilla's, por fornecer conhecimento e conselhos ao longo de todo esse projeto.

A Banca Examinadora, pelas sugestões para o melhoramento do trabalho.

Aos Bolsistas e Estagiários do Laboratório de Ecologia da UECE – LABOECO e do laboratório de Biotecnologia da Reprodução de Peixes – LBRP, pela ajuda constante, amizade e incentivo constante durante minha permanência no laboratório.

Ao senhor Antônio Cesar Camelo por todo apoio durante a execução da pesquisa.

Aos meus amigos de faculdade, pela amizade e enriquecimento acadêmico.

A toda minha família, em especial, meus pais Manoel Campos e Regina Campos, que me deram apoio e educação para a minha formação como cidadão.

A minha esposa, Odaila Campos, que me estimulou durante todo o curso e sempre me ajudou nas dificuldades.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O presente estudo avaliou os efeitos de um sistema aquapônico sobre o desempenho zootécnico do camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*), a qualidade de água e o desenvolvimento das plantas halófitas *Batis marítimas*, *Salicornia neei* e *Sesuvium portulacastrum*, cultivados em dois níveis de salinidade. Com isso, foi realizado um estudo com delineamento experimental constituído com quatro tratamentos, salinidade 40 ppm sem aquaponia (SS40), salinidade 15 ppm sem aquaponia (SS15), salinidade 40 ppm em aquaponia (SA40) e salinidade 15 ppm em aquaponia (SA15), cada um com quatro réplicas com intercalação sistemática. O aumento da salinidade da água reduziu a concentração de oxigênio dissolvido e o pH da água. O sistema de cultivo afetou a concentração de fósforo reativo e de sólidos sedimentáveis na água, de modo que, os tanques com plantas apresentaram menores concentrações, independente da salinidade da água. O desempenho produtivo das halófitas *S. portulacastrum* e *B. marítima* diferiu significativamente de acordo com a salinidade. Essas plantas tiveram índices produtivos maiores na salinidade 15 do que em 40. A halófita *S. neei* não teve o desempenho de crescimento afetado nos dois níveis de salinidade. Os valores de TCR e TCA, em altura, para *S. portulacastrum*, foram estatisticamente diferentes entre as salinidades 15 e 40. A concentração de cobre na água nos tanques SS40 foi maior do que nos tanques SA40. A sobrevivência, biomassa final e produtividade dos camarões foram maiores em tanques com salinidade 40 ppm do que aqueles mantidos em salinidade 15, quando as plantas estavam ausentes. Os camarões mantidos em tanques com plantas não tiveram o desempenho zootécnico melhorado. Os resultados indicaram que as plantas halófitas tem melhores taxas de crescimento quando mantidas em salinidade 15 ppm. Além disso, o sistema aquapônico reduz as concentrações de fósforo, sólidos sedimentáveis e cobre da água. Embora os camarões cultivados em sistema aquapônico não apresentaram índices de crescimento satisfatórios, a aquaponia foi eficiente na melhoria da qualidade de água e no cultivo de *S. portulacastrum* e *B. marítima*.

Palavras-chave: aquaponia; halófitas; carcinicultura; qualidade de água.

ABSTRACT

The present study evaluated the effects of an aquaponic system on the zootechnical performance of marine shrimp (*Litopenaeus vannamei*), the water quality and the development of halophyte plants *Batis maritimes*, *Salicornia neei* and *Sesuvium portulacastrum*, cultivated in two levels of salinity. Thus, a study was carried out with an experimental design consisting of four treatments, salinity 40 ppm without aquaponics (SS40), salinity 15 ppm without aquaponics (SS15), salinity 40 ppm in aquaponics (SA40) and salinity 15 ppm in aquaponics (SA15). Each with four replicates with systematic interleaving. Increasing water salinity reduced dissolved oxygen concentration and water pH. The cultivation system affected the concentration of reactive phosphorus and sedimentable solids in the water, so that the tanks with plants had lower concentrations, regardless of the salinity of the water. The productive performance of the halophytes *S. portulacastrum* and *B. maritima* differed significantly according to salinity. These plants had higher productive indexes in salinity 15 than in 40. The halophyte *S. neei* did not have its growth performance affected in both salinity levels. Relative growth rate (RGR) and absolute growth rates (AGR) values, in height, for *S. portulacastrum*, were statistically different between salinities 15 and 40ppm. The copper concentration in the water in the SS40 tanks was higher than in the SA40 tanks. Shrimp survival, final biomass and productivity were higher in tanks with salinity 40 than those maintained at salinity 15ppm, when the plants were absent. Shrimp kept in tanks with plants did not have improved zootechnical performance. The results indicated that halophyte plants have better growth rates when maintained at salinity 15ppm. In addition, the aquaponic system reduces the concentrations of phosphorus, settleable solids and copper in the water. Although shrimp cultivated in an aquaponic system did not show satisfactory growth rates, aquaponics was efficient in improving water quality in the cultivation of *S. portulacastrum* and *B. maritima*.

Keywords: aquaponics; halophytes; shrimp farming; water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Precipitação do posto pluviométrico CASTELAO da cidade de Fortaleza-Ce do mês de dezembro de 2020	20
Figura 2	– Precipitação do posto pluviométrico CASTELAO da cidade de Fortaleza-Ce do mês de janeiro de 2021	21
Figura 3	– Estrutura de cultivo experimental	22
Figura 4	– Concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	28
Figura 5	– Concentração de amônia não-ionizada (NH ₃) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	29
Figura 6	– Concentração de nitrito (NO ₂ ⁻) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	30
Figura 7	– Concentração de nitrato (NO ₃ ⁻) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	31
Figura 8	– Concentração de fósforo reativo (PO ₃ ⁻) na água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	32
Figura 9	– Concentração de sólidos sedimentáveis (SS) na água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração de oxigênio dissolvido (O ₂), pH, temperatura e salinidade da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades (média ± d.p)	25
Tabela 2 – Sobrevivência, Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), biomassa inicial, biomassa final, ganho de biomassa total e produtividade de mudas de <i>Sesuvium portulacastrum</i> , <i>Salicornia neei</i> e <i>Batis maritima</i> mantidas em sistema de aquaponia e em diferentes salinidades (média ± d.p)	35
Tabela 3 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) de mudas de <i>Sesuvium portulacastrum</i> , <i>Salicornia neei</i> e <i>Batis maritima</i> mantidas em sistema de aquaponia e em diferentes salinidades (média ± d.p)	36
Tabela 4 – Concentrações finais de arsênio, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, manganês, níquel e zinco da água de cultivo de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema aquaponia com diferentes salinidades (média ± d.p)	37
Tabela 5 – Desempenho zootécnico de camarão branco do Pacífico <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivado na presença ou ausência de sistema de aquaponia com diferentes salinidades (média ± d.p)	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BI	Biomassa inicial
BF	Biomassa final
Ca	Cálcio
Co	Cobalto
Cu	Cobre
Fe	Ferro
GBT	Ganho de biomassa total
g.L ⁻¹	Gramas por litro
K	Potássio
Kg.m ⁻²	Quilograma por metro quadrado
L	Litros
mg L ⁻¹	Miligramas por litro
mL L ⁻¹	Mililitro por litro
Mn	Manganês
N ₂	Nitrogênio
NaCl	Cloreto de sódio
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
P	Fósforo
Pb	Chumbo
ppm	Parte por milhão
Product.	Produtividade
ppt	Unidade prática de salinidade
Sal.	Salinidade
Sob.	Sobrevivência
TCA	Taxa de crescimento absoluto
TCR	Taxa de crescimento relativo
μM	Micromolar
°C	Graus Celsius
% dia ⁻¹	Percentual por dia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Panorama da aquicultura.....	12
2.2	Cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i>	12
2.3	Plantas halófitas	13
2.3.1	<i>Batis marítima</i>	14
2.3.2	<i>Salicornia neei</i>	15
2.3.3	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	16
2.4	Sistemas aquapônicos.....	17
2.5	Impactos ambientais.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Local do trabalho.....	20
3.2	Desenho experimental.....	21
3.3	Análises da qualidade de água.....	22
3.4	Halófitas: cultivo, coleta e parâmetros de desempenho	23
3.5	Camarões: criação, coleta e desempenho zootécnico.....	23
3.6	Análise estatística.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1	Qualidade de água.....	25
4.2	Desempenho das plantas.....	33
4.3	Metais pesados	36
4.4	Desempenho zootécnico.....	39
5	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Aquicultura é um dos ramos econômicos com maior crescimento no mundo, com um aumento na produção de 5,7% em 2020 e uma produção de 122,6 milhões de toneladas, incluindo animais aquáticos e algas (FAO, 2022). Os crustáceos representam uma parcela importante da aquicultura com uma produção de 11 milhões de toneladas e uma receita de US\$ 81,5 bilhões, tendo o camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, como o mais cultivado mundialmente (FAO, 2022). Segundo a FAO (2022), o Brasil é o décimo maior produtor de crustáceos com predomínio do cultivo de camarão branco do Pacífico. Essa espécie é cultivada tanto em ambientes próximos ao litoral e em locais mais afastados da costa, sendo mais cultivado em salinidades de 15 a 40 g L⁻¹, entretanto, pode tolerar uma amplitude de 0,5 a 60 g L⁻¹ (ARANEDA, M.; PÉREZ, E. P.; GASCA-LEYVA, E. 2008; CHONG-ROBLES *et al.*, 2014).

O cultivo de camarão, embora gere empregos, ocasiona discussões relacionadas à salinização dos lençóis freáticos, à destruição de manguezais, aos riscos de introdução de espécies exóticas e de difusão de epidemias entre os animais de criação e à desestruturação das comunidades de pescadores artesanais; além do que, o lançamento de efluentes provenientes da produção tem aumentado a capacidade do meio ambiente de absorver esses resíduos no qual o negócio esteja inserido (PAULA; LIMA; MAIA, 2016).

Os efluentes provenientes da carcinicultura, quando despejados diretamente no ambiente, sem tratamento prévio, contêm restos de alimentos, fezes e fragmentos de animais, podendo causar a degradação das águas dos estuários ou eutrofização. Como resultado, podem ocasionar modificação no meio resultando em perda de flora e fauna (RIBEIRO; SOUZA; BARROS, 2014), sendo necessário buscar meios para tratar essas águas residuais.

Geralmente, o tratamento desses efluentes provenientes da aquicultura é feito em tanques ou bacias de sedimentação e *wetlands* artificiais. Esse último são sistemas projetados para utilizar processos naturais de remoção de poluentes dos efluentes, atuando principalmente, na retirada de nitrogênio e fósforo por sedimentação, precipitação química e adsorção (VYMAZAL, 2014). Os *wetlands* que usam plantas halófitas (plantas tolerantes à salinidade) permitem o tratamento das águas salinizadas permitindo a produção de culturas secundárias valiosas (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). A produção integrada de plantas em aquaponia utilizando os resíduos da aquicultura marinha é uma das alternativas para atender essa demanda, pois melhora os recursos naturais e trata em parte águas residuárias, que seriam despejadas com altos níveis de nitrogênio e fósforo, melhorando sua qualidade (PINHEIRO *et al.*, 2017).

De fato, modelos de criação sustentável de alimentos que consistem em cultivo de plantas e de animais aquáticos podem ser consorciados por meio de sistemas aquapônicos. A aquaponia é considerada uma técnica de produção que melhora o uso dos recursos hídricos, em sistemas aquícolas marinhos, torna-se necessário o uso de plantas que sejam resistentes e habituadas a meios com alta concentração salina e apresentem capacidade produtiva para consumo e outros possíveis fins produtivos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013).

Halófitas são plantas favoráveis para diferentes tipos de uso devido à sua estrutura química e propriedades fisiológicas especiais que possibilitam o crescimento em ambientes salinos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Têm capacidade de concentrar metais pesados, tornando-se capazes para fitoextração e fitoestabilização em solos contaminados (ALVES *et al.*, 2020a). Além disso, outros usos podem ser aplicados pela utilização de plantas halófitas, como a *Batis maritima* que apresenta potencial fitoterápico pela presença de flavonoides na semente (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016; LONARD; JUDD; STALTER, 2011). Diaz *et al.* (2020) indicaram que a halófitas *Salicornia neei* pode ser utilizada para tratamento de efluentes em aquicultura salina pela alta eficiência de remoção de nitrogênio e significativa produção de biomassa. Além disso, o extrato bruto de *Sesuvium portulacastrum* pode ser utilizado para controlar o *Vibrio harveyi* durante a larvicultura de *Penaeus monodon* (DINESHKUMAR; KANNAPPAN; SIVAKUMAR, 2017).

Diante desta diversidade estrutural de constituintes químicos (vitaminas, minerais e compostos bioativos) e pela complexidade fisiológica, essas plantas se adaptaram a ecossistemas costeiros, possibilitando a associação do cultivo destas espécies com a atividades de carcinicultura, tanto para produção de biomassa vegetal quanto para tratamento da água residuária (CHU; BROWN, 2020; SCHARDONG; MORO; BONILLA, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2017).

Com isso, o presente estudo avaliou os efeitos de um sistema aquapônico sobre o desempenho zootécnico do camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*), a qualidade de água e o desenvolvimento das plantas halófitas *Batis marítimas*, *Salicornia neei* e *Sesuvium portulacastrum*, cultivados em dois níveis de salinidade no período do ano de baixo índice pluviométrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da aquicultura

A aquicultura é um dos setores de produção animal que mais cresce no mundo, com perspectivas de produção de 100 e 106 milhões de toneladas para 2027 e 2030, respectivamente (FAO, 2022). De acordo com a FAO (2022), a produção global de animais aquáticos no ano de 2020 foi superior a 87,5 milhões de toneladas, usados, principalmente, para alimentação humana. Dentre as espécies mais produzidas no Brasil e no mundo, destacam-se a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, com 4,4 milhões de toneladas e o camarão marinho, *L. vannamei*, com 5,8 milhões de toneladas (FAO, 2022).

O cultivo de camarão marinho é de fundamental importância econômica para o segmento aquícola, sendo o *L. vannamei* a principal espécie cultivada, correspondendo a 51,7% de toda a produção mundial de crustáceos (FAO, 2022). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística referente ao ano de 2020, o Brasil produziu 78,6 mil toneladas de camarão marinho, representando um aumento de 18,1%, em relação ao ano anterior (BRASIL, 2021).

Apesar do cenário de crescimento, a carcinicultura nacional enfrenta inúmeras dificuldades incluindo inundações sazonais, doenças virais como a mionecrose infecciosa (IMNV) e a síndrome da mancha branca (WSSV), dificuldades na obtenção de licenciamento ambiental, instabilidade da moeda brasileira em relação ao dólar norte-americano promovendo queda dos preços no mercado internacional e inviabilizando a exportação do produto (VALENTI *et al.*, 2021). Em meio a tantos desafios técnicos e logísticos, a carcinicultura vem mostrando seu potencial e as novas tecnologias contribuem para seu desenvolvimento.

2.2 Cultivo de *Litopenaeus vannamei*

Os camarões marinhos, peneídeos, são os organismos aquáticos comercialmente mais importantes do mundo. Dentre os peneídeos, destaca-se principalmente o *L. vannamei*, onde é considerada a espécie mais cultivada e possui grande importância na América Latina e na Ásia. O camarão branco do pacífico, *L. vannamei*, nativo da costa Norte do Peru ao Noroeste do México (ROY *et al.*, 2010) é a espécie mais produzida na carcinicultura mundial. Dentre as características que fazem desta espécie a mais difundida, destacam-se a fácil adaptabilidade a condições físico-químicas do meio, a exemplo da salinidade e temperatura.

No Brasil, essa espécie de camarão domina a carcinicultura. Esse fato se deve devido algumas características como rusticidade, tolerância a diferentes salinidades, desempenho zootécnico satisfatório, tem menor exigência proteica, por ser onívora, pouco agressivo, pacote tecnológico definido e ampla aceitação nos mercados a nível nacional e mundial. Segundo o BRASIL (2021), foram produzidas 78,6 mil toneladas de camarão criado em cativeiro em 2021 no Brasil, com a Região Nordeste representado 99,7% desse total. Dentre os principais estados, destacam-se o Ceará, com 42,9% da produção nacional ou 33,7 mil toneladas, e o Rio Grande do Norte, com 26,9% ou 21,2 mil toneladas de camarão marinho *L. vannamei* (BRASIL, 2021). A produção se baseia na monocultura e é realizada em viveiros de fazendas localizadas em regiões estuarinas e regiões interiores com águas de baixa salinidade (VALENTI *et al.*, 2021). Nas carciniculturas da Região Nordeste do Brasil, o *L. vannamei* é cultivado em salinidades hiperoceânicas, acima de 55 ppt ou a salinidades próximas a 1 ppt (NUNES, 2001).

Embora seja uma prática relevante para a geração de empregos locais, a carcinicultura tem sido associada a severos impactos ambientais de corpos d'água naturais principalmente como consequência do aporte de nutrientes, como nitrogênio, dos efluentes não tratados dos tanques de camarão (QEIROZ *et al.*, 2020). Barcellos *et al.* (2019) indicam que há um impacto substancial de efluentes de carcinicultura não tratados e efluentes de esgoto doméstico em manguezais nas frações orgânicas e inorgânicas de fósforo, levantando importantes preocupações sobre a poluição desses ecossistemas marinhos. Como medida mitigatória, os produtores devem fazer uso de técnicas que melhorem a qualidade de água dos efluentes de cultivo dos camarões.

Nesses empreendimentos aquícolas, onde a carga de nutrientes é elevada, pode-se integrar o cultivo ao sistema aquapônico. Para isso, deve-se fazer uso de plantas halófitas, que são adaptadas a ambientes de maior salinidade, aumentando a eficiência da integração dos sistemas, promovendo a reciclagem dos nutrientes, a diversificação da produção e a criação de subprodutos de alto valor (BEYER *et al.*, 2021).

2.3 Plantas halófitas

Plantas halófitas são espécies de plantas que se desenvolvem naturalmente em habitats salinos, com mecanismos adaptativos que permitiram-nas crescer em ambientes com elevadas concentrações de sódio (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007). A composição química e determinadas características fisiológicas passaram por alterações evolutivas durante muito tempo para a sobrevivência em ambientes de elevada salinidade.

Um desses processos desenvolvidos pelas halófitas é a utilização da bomba de sódio e potássio para reconduzir o sódio absorvido pelo metabolismo de volta para o ambiente e bombear o potássio para o interior das células. Há também, plantas halófitas que secretam o sódio ou fazem seu isolamento do citoplasma celular, quando este for absorvido do ambiente (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007; BUHMANN; PAPENBROCK, 2013).

Alguns gêneros de halófitas, a exemplo da *Salicornia*, oferecem grande variedade de produtos e diversas utilizações, tais como a forragem para animais, fitorremediação de áreas salinizadas, produção de fármacos e extração de óleos das sementes para uso industrial (ALVES *et al.*, 2020a). Outra utilização de halófitas que vem ganhando destaque é no tratamento de efluentes da carcinicultura marinha, pois além de serem tolerantes a elevadas salinidades, apresentam elevadas produtividades e boa capacidade na remoção de nitrogênio e fósforo do sistema. Boxman *et al.* (2018) demonstraram que a aquaponia marinha é uma maneira eficaz de produzir simultaneamente peixes marinhos, halófitos comestíveis (*S. portulacastrum* e *B. marítima*) e fertilizantes. Beyer *et al.* (2021) indicaram que *S. neei* é uma alternativa de halófito para uso como biofiltro para águas residuais de aquicultura marinha, pois foi eficiente na remoção de amônia e nitrato de sistema de recirculação aquícola com cultivo do peixe olho-de-boi (*Seriola lalandi*).

Além desses benefícios para o cultivo aquícola, possui elevada procura no mercado por sua capacidade em sintetizar compostos antioxidantes e fenólicos importantes para saúde humana (LEE *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2020a). O uso de sistema aquapônico reduz o consumo diário de água. Como indicado por Thomas *et al.* (2019), é possível reduzir o uso de água em 17,7% em relação ao cultivo convencional com adoção do sistema aquapônico.

As espécies *B. marítima*, *S. neei* e *S. portulacastrum* são encontradas na região costeira do Ceará em áreas alagadiças sob regime das marés, são consideradas facilitadoras no recrutamento, crescimento e sobrevivência de propágulos, plântulas e juvenis de várias outras espécies do mangue (VILLAVICENCIO, 2020).

2.3.1 *Batis marítima*

A planta halófito *B. marítima* (Linnaeus, 1759) é definida como subarbusto subtropical e tropical, dióica e com produção de biomassa sob diferentes níveis de estresse salino. Essa espécie forma densas colônias em regiões de água salobra, manguezais e salinas (MARCONE, 2003; LONARD; JUDD; STALTER, 2011). Estudos mostram a espécie que coloniza rapidamente áreas de manguezais degradados e é um excelente colonizador em áreas de

restauração, colaborando para o estabelecimento de manguezais (MILBRANDT; TINSLEY, 2006). Essa espécie habita áreas salgadas, apresenta elevada tolerância a condições ambientais desfavoráveis, como altas salinidades e temperaturas do sedimento (LINNAEUS *et al.*, 2011). Como estratégia para se manter em ambientes com elevada salinidade, essa planta concentra o sal em suas folhas, principalmente sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), e, quando necessário deixa as folhas caírem para remover o sal e poder crescer (LONARD; JUDD; STALTER, 2011).

Outro aspecto importante para plantas halófitas usadas na aquicultura é o potencial para melhoria da qualidade de água. Nesse sentido, Boxman *et al.* (2017) demonstraram que a aquaponia marinha pode ser uma maneira eficaz de gerenciar a remoção de nutrientes em sistemas de aquicultura terrestres marinhos. Esses autores indicaram que *S. portulacastrum* e *B. maritima* foram eficientes na remoção de compostos nitrogenados da água do sistema aquapônico marinho.

A *B. marítima* possui importância ecológica na proteção de zonas costeiras e na estabilização de substratos. Além disso, fornece nutrição e abrigo para vida selvagem, na gastronomia suas folhas são adicionadas às saladas e na medicina tradicional são usadas para o tratamento de algumas enfermidades, como o eczema, psoríase, reumatismo, distúrbios do sangue e tireoide e no tratamento de infecções cutâneas (LONARD; JUDD; STALTER, 2011).

Segundo Marcone (2003), a composição química das sementes de *B. marítima* com peso de 0,5 mg e 1,0 mm apresenta 87,3% de proteína bruta e até 25% de óleo. Seu elevado teor proteico é rico em aminoácidos essenciais como metionina e lisina, com pouca atividade de inibição de tripsina. Enquanto que a fração de óleo encontrado é caracterizado como de elevada qualidade, com aproximadamente 93% de grau de insaturação. Além disso, as sementes dessa espécie apresentam grandes quantidades de compostos antioxidantes lipossolúveis e presença de tocoferóis, favorecendo a estabilidade oxidativa do óleo.

2.3.2 *Salicornia neei*

Conhecido popularmente como aspargo do mar, a halófito *S. neei* foi inicialmente definida como *Salicornia ambigua* (Michaux), mas atualmente é classificada molecularmente como *S. neei* Lag. (COSTA *et al.*, 2019). Encontrada na costa Sul do Brasil e Patagônia argentina, predomina em áreas salgadas de alta salinidade e abriga grandes populações de poliquetas e crustáceos (VILLARREAL *et al.*, 2021).

A *S. neei* é uma herbácea perene, suculenta, com caule com coloração predominantemente verde ou vermelho, de até 50 cm de altura, lenhosos somente na base, às

vezes em nós basais com raízes finas (ALONSO; CRESPO, 2008). Apresenta excelente potencial nutricional com grandes quantidades de proteínas, enxofre e minerais. Possui fração lipídica com perfil saldável de ácidos graxos e quando cultivada em ambientes extremamente salinos, produzem de metabólitos antioxidantes, que contribui para a saúde humana. Segundo Doncato e Costa (2018) a *S. neei* cultivada com efluente salino de carcinicultura, possuem alto conteúdo mineral, particularmente N, K, P, Ca, Fe e Mn. A quantidade diária de 5; 20 e 200 g de caules secos da variedade BTH1-F4 pode ser inserida e suplementada nas dietas, respectivamente, do homem, ovelhas e peixes cultivados comercialmente.

A composição bioquímica específica das sementes de *Salicornia* mostra o alto teor de moléculas bioativas, que incluem os ácidos linoléico (75,6%) e oleico (13,0%), além da presença dos ácidos palmítico, tetracosanol e octacosanol, este último de alto peso molecular e pertencente as drogas usadas para diminuir os níveis de colesterol (LOCONSOLE; CRISTIANO; DE LUCIA, 2019).

As halófitas pertencentes ao gênero *Salicornia*, quando expostas ao estresse abiótico, produzem espécies reativas de oxigênio (EROs) que podem causar injúrias as membranas celulares e a atividade enzimática, para que isso não ocorra são produzidas enzimas e pequenas moléculas antioxidantes. Essas moléculas proporcionam propriedades medicinais às halófitas, que são empregadas em tratamentos de doenças como o câncer e diabetes (LOCONSOLE; CRISTIANO; DE LUCIA, 2019). Costa e Neves (2006), descrevem que brotos com coloração avermelhada indica a abundância de compostos fenólicos, que contribuem para a proteção de EROs resultantes de estresse salino, hídrico e pela alta incidência de radiação ultravioleta.

A *S. neei* pode ser uma alternativa para tratamento de efluentes de aquicultura. Diaz *et al.* (2020) avaliaram o potencial da *S. neei* em *wetlands* para tratar efluentes salinos com concentração simulada de N-amônia e N-nitrato de maneira semelhante à água marinha de efluentes de aquicultura. A eficiência de remoção de nitrogênio e produção de biomassa foi alta nos tratamentos com fertilização de N-amônia+N-nitrato, com $89,6 \pm 1,0\%$ e $11,3 \pm 2,0 \text{ kg m}^{-2}$, e N-nitrato, com $88,8\% \pm 0,9\%$ e $10,0 \pm 0,8 \text{ kg m}^{-2}$.

2.3.3 *Sesuvium portulacastrum*

A *S. portulacastrum* é uma halófito psammófito, ou seja, adaptada a ambientes arenosos, de rápido crescimento, herbácea, dicotômica, perene e pioneira. Desenvolve-se naturalmente em zonas subtropicais, mediterrâneas e costeiras de elevadas temperaturas, além

disso, é bem adaptada a altas salinidades, seca e cresce bem em baixas concentrações de nutrientes no solo (MA *et al.*, 2021).

A capacidade de se propagar por fragmentos vegetativos tolerantes a salinidade fez da *S. portulacastrum* uma importante espécie pioneira nos trópicos e subtropicais, bem como sua resistir ao soterramento. Além disso, contribui para recuperação de áreas impactadas promovendo o estabelecimento de espécies menos resistentes, por meio do aprisionamento dos propágulos, redução da temperatura e aumento da aeração do solo (MCKEE; ROOTH; FELLER, 2007).

Essa planta halófito pode ser utilizada para dessalinização de solos acumulando íons em seus vacúolos. Muchate *et al.* (2016) mostraram que *S. portulacastrum* reduz a condutividade elétrica solo, através da remoção de Na⁺, armazenando nas folhas. Além disso, *S. portulacastrum* é eficiente em acumular metais pesados como Cromo, Cádmiio, Cobre e Zinco, como também, sódio e cloreto (AYYAPPAN; SATHIYARAJ; RAVINDRAN, 2016). Ainda podem ser usadas como hortaliça, forragem para animais domésticos, fertilizantes orgânicos e como planta ornamental (LOKHANDE *et al.*, 2013).

Devido à grande tolerância ao sal, excelente capacidade na remoção de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) e ao alto valor econômico dos compostos extraídos das plantas halófitas, o uso de sistemas aquícolas que permitam o cultivo integrado de espécies como o *L. vannamei*, associado ao cultivo de plantas halófitas, podem trazer benefícios econômicos e ambientais, proporcionados pelo reaproveitamento de água, ciclagem de nutrientes e, dessa forma, maior crescimento das duas espécies cultivadas.

2.4 Sistemas aquapônicos

Com o rápido desenvolvimento da carcinicultura, grandes volumes de água residuais com elevada salinidade e grandes concentrações de nutrientes dissolvidos, dentre eles nitrogênio e fósforo, são despejados em corpos hídricos adjacentes, muitas vezes sem o tratamento adequado, causando eutrofização dos ecossistemas receptores (MA *et al.*, 2021).

Diversas alternativas têm sido avaliadas na busca por tratar os efluentes e diminuir dos impactos causados pela aquíicultura. Dentre essas tecnologias estão os alagados construídos (*wetlands*) com a utilização de macrófitas aquáticas, que atuam como um biofiltro natural e exibem resultados promissores no tratamento de efluentes de cultivos aquícolas (VYMAZAL, 2014).

A produção de vegetais e frutas irrigados com o efluente do cultivo de camarões em baixa salinidade apresenta resultados satisfatórios. Miranda *et al.* (2008) observaram que o efluente da carcinicultura pode fornecer até 25% do nitrogênio necessário para o cultivo de melão. Sistemas que produzem culturas secundárias utilizando subprodutos do cultivo de espécies primárias são denominados de cultivos integrados. Quando peixes ou camarões são cultivados em conjunto com culturas secundárias de plantas aquáticas ou terrestres, em que as duas espécies são beneficiadas, esta integração é chamada de aquaponia (RAKOCY, 2012).

A aquaponia preconiza a produção de organismos aquáticos em sistema de recirculação de água e o sistema hidropônico em um único sistema de produção, envolvendo organismos aquáticos em integração com a produção de vegetais. Esse sistema assemelhasse aos processos naturais de corpos hídricos, em que há o aumento de nutrientes promovidos pela liberação de dejetos e compostos nitrogenados liberados pelos organismos aquáticos e o posterior aproveitamento desses compostos pelos vegetais, para produção de sua própria biomassa e conseqüente remoção da água (LENNARD; GODDEK, 2019).

Apesar da maior ênfase nos estudos e na prática da aquaponia em água doce, a limitação deste recurso e a salinização dos solos causados pela aquicultura marinha têm elevado a busca por cultivos com reaproveitamento de água utilizando plantas halófitas em água marinha ou salobra (KOTZEN; EMERENCIANO; MOHEIMANI, 2019). As plantas halófitas possuem características fisiológicas e composição bioquímica específica que as permitem crescer em ambientes salinizados, o que garante a viabilidade do uso desses vegetais para a ciclagem de nutrientes em cultivos aquícolas marinhos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007; BUHMANN; PAPENBROCK, 2013).

2.5 Impactos ambientais

Como em qualquer outra atividade produtiva, a carcinicultura promove alterações ambientais e gera impactos ao meio físico, biológico e socioeconômico. O impacto físico refere-se à modificação da paisagem; o impacto biológico é aquele em que a biota sofre algum tipo de alteração; e o impacto socioeconômico é quando o homem sofre as conseqüências de uma determinada atividade causada por ele mesmo (TANCREDO *et al.*, 2011).

A aquicultura é um dos setores econômicos de maior crescimento mundial. Embora o cultivo de camarão se destaque no Brasil devido ao clima favorável, disponibilidade de água, domínio de novas tecnologias de produção e geração de empregos, a carcinicultura enfrenta conflitos relacionados à salinização dos lençóis freáticos, destruição de manguezais, riscos de

introdução de espécies exóticas, poluição hídrica, difusão de epidemias entre os animais e desestruturação das comunidades que vivem da pesca artesanal (SANTOS *et al.*, 2017; FERREIRA; LACERDA, 2016; POLIDORO *et al.*, 2010).

As águas provenientes da carcinicultura têm alta concentração de matéria orgânica em suspensão e nutrientes (predominantemente o fósforo e nitrogênio), resultantes de restos de alimentos, fezes, fragmentos dos próprios animais, fitoplâncton e fertilizantes, que geram potenciais riscos de eutrofização e degradação das águas costeiras quando descartadas sem tratamento prévio (RIBEIRO; SOUZA; BARROS, 2014). Locais inapropriados para a prática dessa atividade associado ao manejo inadequado, potencializam a poluição, uma vez que áreas de baixa hidrodinâmica ultrapassam sua capacidade de mineralização de matéria orgânica, aumentando seu acúmulo no sedimento (TANCREDO *et al.*, 2011). Segundo Marins *et al.* (2020), riachos de mangues que recebem efluentes de carcinicultura apresentam concentrações de P dissolvido e particulado significativamente maiores que riachos que não recebem efluentes.

Segundo a Lei 12.651/2012, fazendas destinadas ao cultivo de camarão marinho devem ser implementadas em áreas de apicuns ou salgados para realização de suas atividades (BRASIL, 2012). Porém, de acordo com Friess *et al.* (2016) o desenvolvimento da aquicultura levou à conversão em larga escala de manguezais em viveiros de cultivo de camarão, promovendo redução da mata nativa e mudanças nas características hidrológicas das regiões. Essas áreas atuam na bioestabilização das planícies flúvio-marinhas, contribuem para estabilização geomorfológica, são berçários e criadouros da fauna marinha e desempenham papel fundamental na produção da cadeia alimentar (SANTOS; BENEVIDES, 2007).

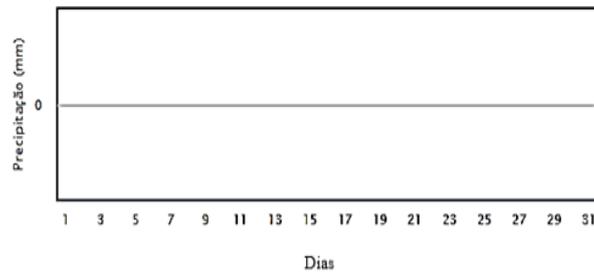
Para a continuidade da carcinicultura no Brasil é necessário o desenvolvimento responsável da atividade com planejamento e gestão dos impactos gerados, uso de novas tecnologias para o e melhoramento da qualidade de água do cultivo e dos efluentes produzidos, garantindo assim, a sustentabilidade do cultivo e preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos disponíveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do trabalho

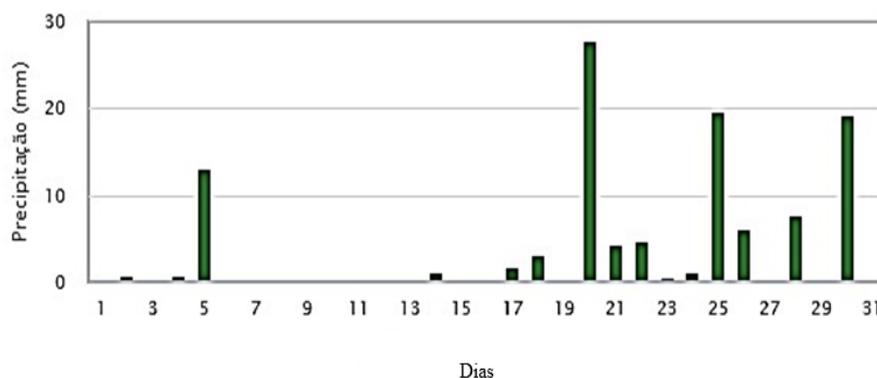
O experimento foi realizado no Laboratório de Biotecnologia da Reprodução de Peixes (LBRP) do Núcleo Integrado de Biotecnologia (NIB) da Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza – CE. ($03^{\circ}79'33''S$; $038^{\circ}55'83''W$). As mudas das plantas halófitas de cada espécie e os camarões marinhos foram obtidos no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA), pertencente ao Instituto Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. O experimento teve duração total de 45 dias e foi realizado em período de baixo índice pluviométrico no estado do Ceará, 1 de dezembro 2020 a 15 de janeiro de 2021 (15,8 mm) (gráficos 1 e 2) (CEARA, 2023).

Figura 1 – Precipitação do posto pluviométrico CASTELAO da cidade de Fortaleza-CE do mês de dezembro de 2020.



Fonte: Ceará (2023).

Figura 2 – Precipitação do posto pluviométrico CASTELAO da cidade de Fortaleza-CE do mês de janeiro de 2021.



Fonte: Ceará (2023)

3.2 Desenho experimental

Foi adotado um desenho experimental com quatro tratamentos, salinidade 40 ppm sem aquaponia (SS40), salinidade 15 ppm sem aquaponia (SS15), salinidade 40 ppm em aquaponia (SA40) e salinidade 15 ppm em aquaponia (SA15), cada um com quatro réplicas com intercalação sistemática. Todos os tratamentos foram constituídos de 16 tanques de criação com capacidade máxima de 61 L, bandeja de alimentação e sistema de aeração. Os tratamentos com aquaponia ainda receberam, uma estrutura em PVC para o cultivo de plantas (Figura 3), mangueira e bomba submersa (vazão da bomba foi de $3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) que funcionou ao longo de todo o experimento.

Todos os tanques dos tratamentos com e sem plantas, foram preenchidos com 59 L de água madura inicialmente fertilizada com melão líquido e ração em pó proveniente dos berçários de criação de pós-larvas (Pl's) de *L. vannamei* do Laboratório de Organismos Aquáticos (LANOA). Camarões com peso médio aproximado de 1,5-2,0 g foram utilizados no experimento, contabilizando um total de 15 indivíduos em cada um dos 16 tanques, com densidade estimada de 62 animais por m^2 .

Figura 3 – Estrutura de cultivo experimental.



Fonte: o Autor (2022)

Não houve renovação de água nos tanques durante a experimentação nem manutenção das taxas C: N para manter o bioflocos, porém será reposta semanalmente a quantidade necessária de água perdida por evaporação nos tanques utilizando como base uma marcação feita na própria caixa, utilizando água dos berçários que ficará armazenada em duas caixas de 500 L (salinidade 40 e 15 ppm).

3.3 Análises da qualidade de água

Ao longo do experimento foram monitorados os parâmetros da seguinte forma:

- 1) Diariamente - Temperatura, salinidade, pH e oxigênio. Utilizando sonda multiparâmetro (SANXIN, modelo SX 836), as 10 horas;
- 2) Quinzenalmente – nitrogênio amoniacal total (NAT – método do Indofenol), nitrito (método da sulfanilamida), nitrato (método da coluna redutora de Cd) e fósforo reativo (método do azul de molibdênio), sendo determinados no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, pelo método de leitura em Colorímetro Fotoelétrico

(modelo C-200, da marca Instrutherm ®). Os resultados foram medidos em mg L⁻¹. Os sólidos sedimentáveis foram determinados pelo método do cone de sedimentação de Imhoff. Todas estas análises foram realizadas segundo Sá (2012) e Boyd e Tucker (1992).

3.4 Halófitas: cultivo, coleta e parâmetros de desempenho

Foram selecionadas três espécies de halófitas, *B. maritima*, *S. neei* e *S. portulacastrum*, para o cultivo nas oito unidades em associação com aquaponia. As mudas enraizadas em suporte de tampa de plástico de garrafa pet foram encaixadas nas estruturas de cultivo nos sistemas de aquaponia. Cada estrutura recebeu 10 mudas de *B. maritima*, 10 mudas de *S. neei* e 30 mudas de *S. portulacastrum*. As raízes das plantas foram submetidas a fluxo contínuo da água de recirculação dos tanques de criação de camarão, denominado filme de nutrientes (Nutrient Film Technique - NFT).

A pesagem e a altura da base do caule até a extremidade superior de cada planta foram realizadas no início e ao final do experimento. As Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Absoluto (TCA) foram calculadas para a altura e a massa. As taxas para massa foram calculadas com base na biomassa úmida. Foram utilizadas as seguintes fórmulas para o cálculo das taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR):

$$TCA = \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)} \qquad TCR = \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(T2 - T1)}$$

Em que: W1 é a altura em centímetros ou massa em gramas no tempo um; W2 é a altura em centímetros ou massa em gramas no tempo dois; T1 é o tempo um; T2 é o tempo dois; ln é o logaritmo Neperiano.

3.5 Camarões: criação, coleta e desempenho zootécnico

O povoamento dos tanques foi realizado com o camarão *L. vannamei*, os quais foram pesados, individualmente, no início e ao final do experimento. Os animais foram alimentados com ração comercial para camarão com 35% de proteína bruta (API CAMARÃO 40 I PRIME, Total Nutrição; Anexo 1), ofertada duas vezes ao dia, às 8:00 h e às 16:00 h. As sobras foram retiradas das bandejas antes que nova porção de ração fosse oferecida. Na despesca foram contados quantos camarões sobreviveram.

Os dados do desempenho zootécnico foram cálculos para a média inicial e final dos camarões, ganho de peso semanal, taxa de sobrevivência, biomassa final e fator de conversão alimentar. As fórmulas usadas foram as seguintes:

Taxa de sobrevivência (%) = (nº final de camarões) / (nº inicial de camarões) *100;

Peso corporal inicial (PCI, g) = biomassa (g) / nº inicial de camarões;

Peso corporal final (PCF, g) = biomassa (g) / nº final de camarões;

Taxa de crescimento específico (TCE, % dia⁻¹) = [(ln peso corporal final – ln peso corporal inicial)/nº de dias de cultivo] x 100;

Ganho de peso semanal (GPS, g semana⁻¹) = [(peso médio final (g) – peso médio inicial (g))] / (dias de cultivo) *7);

Biomassa total final (BTF, g.m⁻³) = biomassa do número final (g) / volume do tanque (m³);

Produtividade (g m⁻³ dia⁻¹) = [(biomassa do número final (g) * volume do tanque (m³)]/dias de cultivo.

3.6 Análise estatística

Para os valores de qualidade de água, concentração de metais pesados e desempenho zootécnico foram submetidos à análise da ANOVA bifatorial. Os resultados de desempenho produtivo das plantas foram avaliados por ANOVA unifatorial. Quando constatada diferença significativa, aplicou-se ao teste de Tukey para comparação das médias, com nível de significância de 5% sendo adotado em todos os testes. A normalidade de cada variável foi avaliada com teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste Levene's. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares SigmaPlot for Windows V.12 (Systat Software, Inc.).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade de água

As variáveis de qualidade de água analisadas diariamente são apresentadas na Tabela 1. No presente trabalho, a concentração média de oxigênio dissolvido nos tanques de cultivo foi de $6,25 \pm 0,40 \text{ mg L}^{-1}$, sendo esse valor de acordo com a faixa de conforto para *L. vannamei* que é de 4 mg L^{-1} (BOYD; TUCKER, 1998). O acompanhamento e controle das variáveis de qualidade de água são importantes para um bom funcionamento do sistema de cultivo e desenvolvimento dos animais. A concentração de oxigênio dissolvido na água é a principal variável de qualidade de água para aquicultura. A exposição prolongada dos animais a baixas concentrações de oxigênio interfere diretamente nos índices de desempenho zootécnico e de funcionamento do sistema de cultivo.

Tabela 1 – Concentração de oxigênio dissolvido (O_2), pH, temperatura e salinidade da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades (média \pm d.p).

Variável	Salinidade	Aquaponia	
		Não	Sim
Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	15,0	$6,54 \pm 0,41 \text{ A}^1$	$6,62 \pm 0,21 \text{ A}$
	40,0	$5,78 \pm 0,59 \text{ B}$	$6,07 \pm 0,39 \text{ B}$
pH	15,0	$7,82 \pm 0,34 \text{ A}$	$7,91 \pm 0,34 \text{ A}$
	40,0	$7,53 \pm 0,25 \text{ B}$	$7,74 \pm 0,28 \text{ A}$
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	15,0	$27,3 \pm 0,5$	$27,5 \pm 0,6$
	40,0	$27,2 \pm 0,5$	$27,3 \pm 0,5$
Salinidade (mg L^{-1})	15,0	$16,16 \pm 0,81 \text{ Aa}$	$18,81 \pm 0,93 \text{ Aa}$
	40,0	$44,66 \pm 3,94 \text{ Ba}$	$47,51 \pm 4,62 \text{ Bb}$

ANOVA bifatorial				
Fator	OD	pH	Temp.	Sal.
Salinidade	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	ns	$\leq 0,05$
Plantas	ns ²	Ns	ns	$\leq 0,05$
Sal. X Plantas	ns	Ns	ns	ns

¹Para uma mesma variável, médias com diferentes letras minúsculas e maiúsculas, na linha e na coluna, respectivamente, são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $p \leq 0,05$); ausência de letras indica não há diferença significativa entre as médias ($p > 0,05$); ²Não significativo (ANOVA $p > 0,05$).

A salinidade afetou de modo significativo a concentração de oxigênio dissolvido da água. Nos tanques SS40 e SA40, a concentração de oxigênio dissolvido da água foi estatisticamente diferente ($p \leq 0,05$) dos tanques SS15 e SA15, respectivamente. Como indicado por Boyd, Torrains e Tucker (2018), à medida que a salinidade aumenta há redução da solubilidade de oxigênio na água. Em alguns estudos com aquaponia foi observado tendencia

de diminuição da concentração de oxigênio dissolvido com o aumento da salinidade da água (CHU; BROWN, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2020).

Diferentemente do efeito da salinidade sobre os níveis de oxigênio dissolvido, o uso ou não de sistema aquapônico não interferiu na concentração de oxigênio dissolvido da água. Rakocy (2012) recomendam que em sistemas de aquaponia o ideal é que a concentração de oxigênio seja de aproximadamente 5 mg L⁻¹, pois isso favorece o máximo de saúde e crescimento de animais, plantas e bactérias nitrificantes. A manutenção de níveis de oxigênio dissolvido mais elevados, no presente estudo, se deve ao adequado funcionamento do sistema de aeração da água.

O pH da água foi influenciado somente pela salinidade da água. Exceto para os tanques SA15 E SA40, o pH da água foi maior ($p \leq 0,05$) nos tanques SS15 do que nos tanques SS40 (Tabela 1). O pH é uma das variáveis mais importantes para aquicultura, pois afeta fisiologicamente os camarões (YU *et al.*, 2020), a atividade microbiana (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006) e a disponibilidade de nitrogênio para as plantas (WONGKIEW *et al.*, 2017). Os animais marinhos apresentam melhor crescimento com o pH entre 7,5-8,5, entretanto os camarões podem se desenvolver bem na faixa de 6-9 (SÁ, 2012). Já o pH mais alcalino pode prejudicar o desenvolvimento das plantas pela precipitação de micronutrientes com sais insolúveis (BUHMANN; PAPENBLOCK, 2013). Segundo Rakocy (2012), as plantas cultivadas em sistema hidropônico preferem uma faixa de pH entre 5,8 a 6,2. Portanto, é importante o acompanhamento dos níveis de pH da água e a concentração dos micronutrientes essenciais a planta, como o ferro, para que o sistema funcione corretamente.

A temperatura média da água foi de $27,3 \pm 0,1$, não diferindo de modo significativo entre os tratamentos ($p > 0,05$; Tabela 1). Esse valor está dentro da faixa de temperatura ótima para *L. vannamei* que é de 28 a 32°C (WYBAN; WALSH; GODIN, 1995).

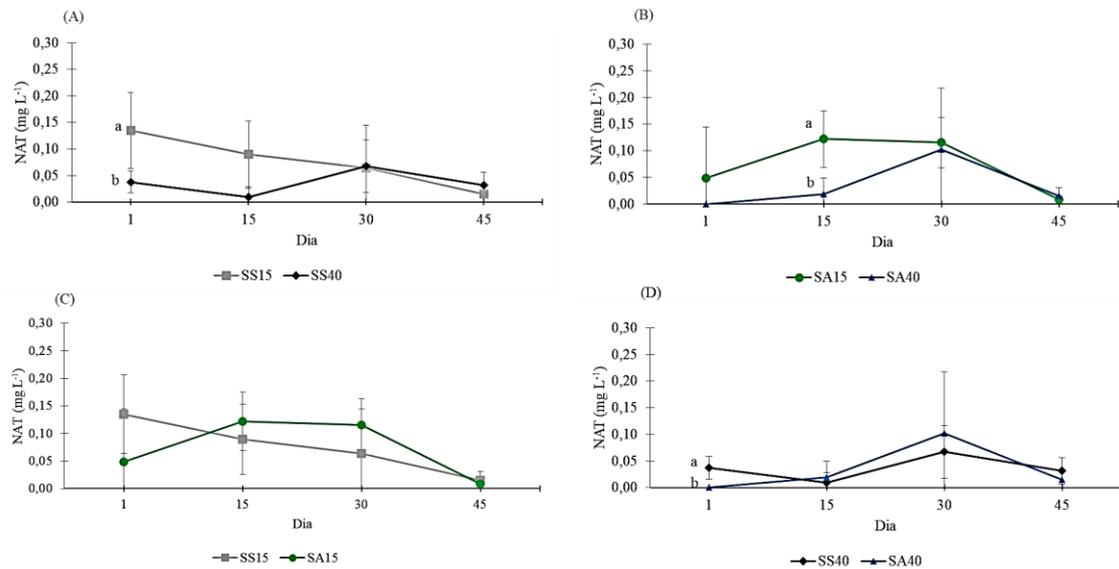
Os valores médios de salinidade observados foram de $17,48 \pm 1,60$ e $46,09 \pm 4,42$, sendo superiores ao inicialmente projetados 15 e 40, respectivamente. Para os dois níveis de salinidade, 15 e 40, as diferenças foram significativas ($p \leq 0,05$). O camarão *L. vannamei* apresenta um ponto isosmótico de 24,7 a 26 ppt (unidade prática de salinidade) (CASTILLE; LAWRENCE, 1981). Ao se afastar dessa faixa, o camarão irá direcionar mais energia para regular o equilíbrio osmótico. Entretanto, os camarões *L. vannamei* conseguem manter boas taxas de crescimentos com salinidade entre 15 e 25 ppt ((BOYD; TUCKER, 1998). As plantas halófitas também são afetadas pela salinidade, de modo que, a preferência pela absorção de NO₃⁻ por NH₄⁺ será alterada a medida que a salinidade aumenta (PINHEIRO *et al.*, 2020; QUINTÃ *et al.*, 2015; KUDO; FUJIYAMA, 2010).

Nos tanques com salinidade 40, a presença de plantas elevou significativamente ($p \leq 0,05$) a salinidade observada em relação aos tanques sem plantas. Essa diferença pode ser explicada pelo fenômeno de evaporação e evapotranspiração das plantas que ocorre nos tanques em que elas estavam presentes, favorecendo a perda de água do sistema. Love, Uhl e Genello (2015) descreveram o funcionamento de um sistema aquapônico de pequena escala e observaram que o sistema teve cerca de 1% de perda de água por dia, sendo a evaporação, evapotranspiração, derramamento, vazamento e troca de água as fontes de perda de água. Rakocy, Masser e Losordo (2006) indicam que em sistemas aquapônicos as trocas diárias de água é aproximadamente 2%.

No início do experimento a concentração de NAT variou entre os tratamentos, mas ocorrendo redução entre os dias 30 e 45 para todos os grupos (Figura 4). O efeito da salinidade sobre as concentrações de NAT é mostrado nas Figuras 4A e 4B. No dia 1, a concentração de NAT reduziu com o aumento da salinidade ($p \leq 0,05$; Figura 4A), quando as plantas estavam ausentes. Posteriormente, não houve diferenças significativas entre os grupos SS15 e SS40. Fato semelhante ocorreu no dia 15, com diminuição significativa de NAT nos tanques SA40 em relação aos SA15, mas em sistema com plantas ($p \leq 0,05$; Figura 4B). Essas diferenças podem ser motivadas pelo desenvolvimento das bactérias no sistema de cultivo. As bactérias Nitrificantes que realizam a oxidação de amônia a nitrato apresentam crescimento lento (CHAWLEY; BANERJEE; JAGADEVAN, 2020). As bactérias do gênero *Nitrossomonas* realizam a primeira etapa da nitrificação, oxidando amônia a nitrito, quando as condições de pH, temperatura, salinidade e oxigênio são favoráveis (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Pinheiro *et al.* (2020) não encontraram efeito da salinidade (8,16, 24 e 32 g L⁻¹) sobre as concentrações de NAT na água de diferentes tanques de sistema aquapônico com bioflocos e cultivo de *L. vannamei* e *S. ambigua*.

A concentração de NAT não foi influenciada pelo uso do sistema aquapônico ou não, na menor salinidade (15) (Figura 4C). O sistema aquapônico diminuiu significativamente o NAT na água em relação aos tanques sem plantas em salinidade 40, apenas no primeiro dia de cultivo ($p \leq 0,05$; Figura 4D). Entretanto, ao final do cultivo, a concentração de NAT não foi influenciada pela salinidade e nem pelo sistema aquapônico. No estudo de Pinheiro *et al.* (2017), nas semanas sete e oitos foram encontrados níveis de NAT maiores nos tanques com *S. ambigua* do que aqueles sem plantas, mas ao final do estudo essa diferença não foi significativa entre os dois grupos. Os autores indicam que esse aumento nas concentrações de NAT nos tanques aquapônicos pode ser motivado pela redução da comunidade bacteriana nitrificante causada pela remoção de sólidos, ocasionando acúmulo desse composto.

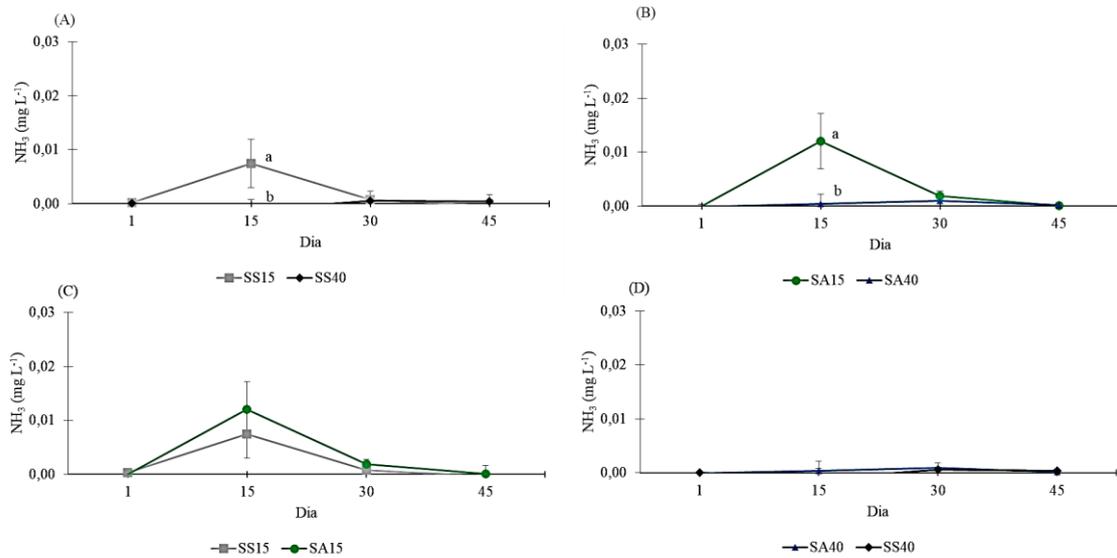
Figura 4 - Concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.



A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em todos os tanques experimentais, os valores de NH_3 na água não foram superiores a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. No dia 15, a salinidade influenciou a concentração de NH_3 , de modo que, em tanques com salinidade 15, apresentaram concentração significativamente maior do que os grupos com salinidade 40, independente do sistema de cultivo (Figura 5A e 5B). Segundo Sá (2012) o NAT é originado a partir da decomposição de sobras de ração fornecida aos animais e de excretas dos organismos aquáticos, oriundo do catabolismo das proteínas. A soma das concentrações de amônia não-ionizada (NH_3) e amônia ionizada (NH_4^+) formam o NAT da água, sendo o equilíbrio desses íons influenciados pelo pH e temperatura da água. Desses compostos, o NH_3 requer mais atenção pelo potencial de toxicidade para os camarões. Além do pH e temperatura, a salinidade afeta as proporções dos íons NH_3 e NH_4^+ do meio, de forma que, uma menor salinidade favorece o aumento de NH_3 na água.

Figura 5 - Concentração de amônia não-ionizada (NH_3) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.

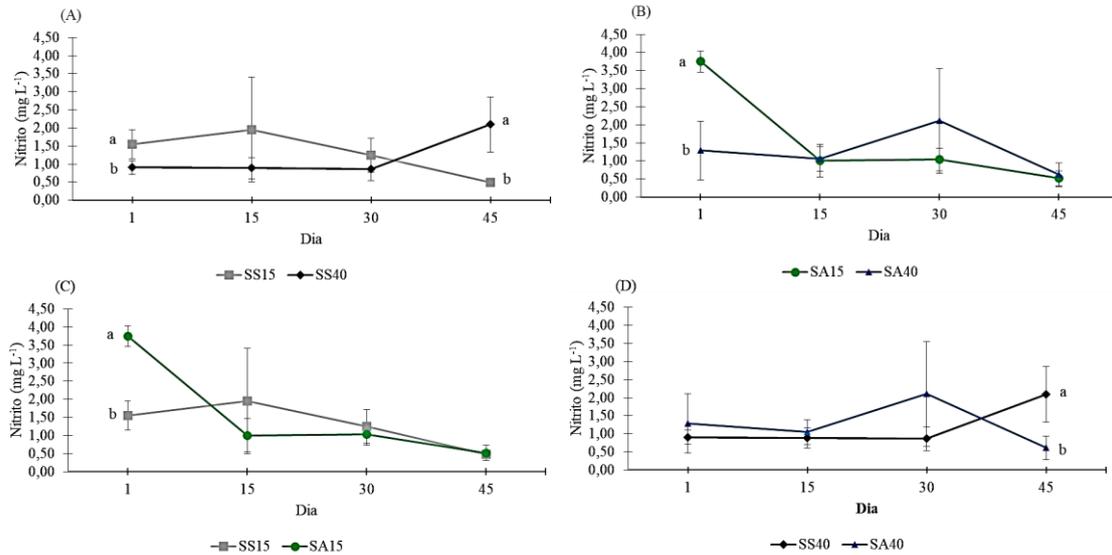


A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A concentração de NH_3 na água não diferiu significativamente entre os sistemas de cultivo com e sem plantas halófitas durante todo o cultivo ($p > 0,05$; Figura 5C e 5D). Níveis de amônia superiores a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ foram observados em tanques aquapônicos com período de cultivo superior a 45 dias (SCHARDONG; MORO; BONILLA, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2017). A amônia é convertida até nitrato pelo processo de nitrificação. As plantas halófitas apresentam preferência por absorver tanto amônio (NH_4^+) como nitrato como fonte de nitrogênio para o crescimento (KUDO; FUJIYAMA, 2010).

No início do experimento, a salinidade afetou a concentração de nitrito na água, de modo que os tanques com menor salinidade apresentaram maiores níveis de nitrito, independente do sistema de cultivo ($p \leq 0,05$; Figura 6A e 6B). Ao final do estudo, a maior salinidade (SS40) favoreceu aumento significativo de nitrito em relação aos tanques com salinidade 15 (SS15), somente onde não havia plantas ($p \leq 0,05$; Figura 6A). O mesmo comportamento não foi observado nos tanques com plantas ao final do estudo (Figura 6B). A flora microbiana nitrificante quando estabelecidas conseguem manter baixos níveis de NO_2^- e NO_3^- , entretanto demandam um certo tempo para atingirem esse momento. Chu e Brown (2020) estudaram o efeito da salinidade (10, 15 e 20) sobre o desempenho de crescimento de camarão *L. vannamei* e três plantas halófitas, *Atriplex hortensis*, *Salsola komarovii* e *Plantago coronopus*, em sistema aquapônico marinho com bioflocos. Esses autores observaram que ao final do estudo os tanques com as maiores salinidades tiveram concentração de nitrito mais elevadas do que aqueles mantidos em salinidade 10.

Figura 6 - Concentração de nitrito (NO_2^-) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.

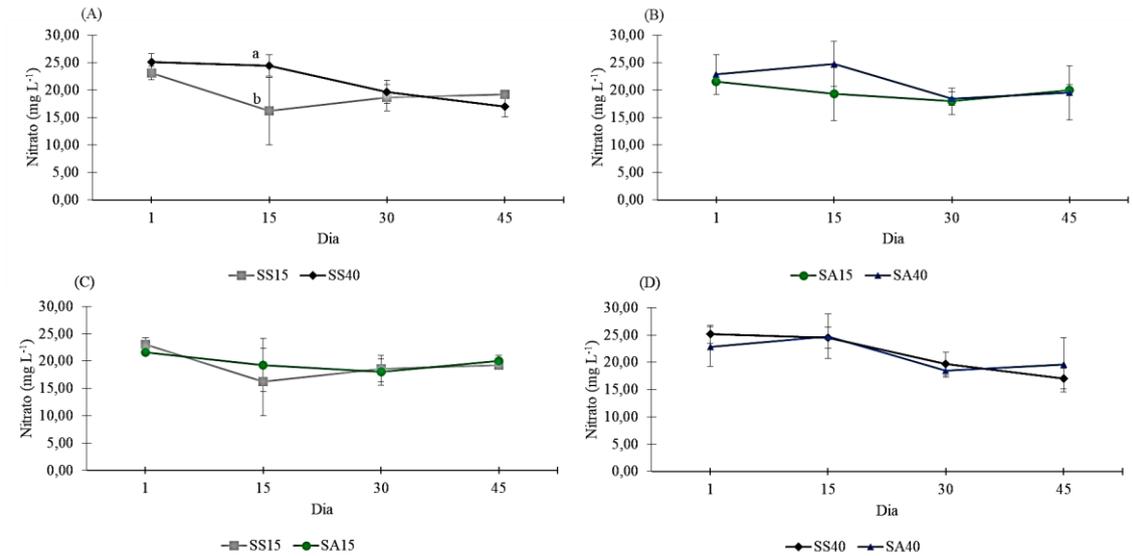


A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O uso de plantas afetou o nitrito na água de acordo com as diferentes salinidades. No dia 1, a concentração de nitrito foi maior ($p \leq 0,05$) nos tanques com planta em relação aos tanques sem plantas, na menor salinidade (Figura 6C). Em seguida, essas concentrações foram diminuindo até o final do estudo sem diferenças significativas. Nos grupos com e sem plantas em salinidade 40, houve diferenças somente no dia 45, com os tanques SA40 apresentando menor concentração de nitrito do que os tanques SS40 ($p \leq 0,05$; Figura 6D). Esses resultados são diferentes dos observados por Pinheiro *et al.* (2017), que encontraram maiores níveis de nitrito nos tanques aquapônicos do que em relação aos tanques controles. A lenta oxidação do nitrito a nitrato pode resultar no acúmulo de NO_2^- no meio (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Níveis de nitrito acima de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ prejudicam o crescimento dos animais, mas em águas com salinidade mais elevada esse efeito é menor (SÁ, 2012).

Em todos os tratamentos, as concentrações de nitrato na água apresentaram variações ao longo do tempo, mas com concentrações finais menores que as iniciais. Os níveis de salinidade 15 e 40 não afetaram significativamente as concentrações de nitrato na água, exceto no dia 15 nos tanques sem plantas (Figura 7A e 7B). Resultados semelhantes foram observados por Chu e Brown (2020), onde a concentração de nitrato foi menor nos tanques com menor salinidade (10) em relação as maiores (15 e 20).

Figura 7 - Concentração de nitrato (NO_3^-) da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.

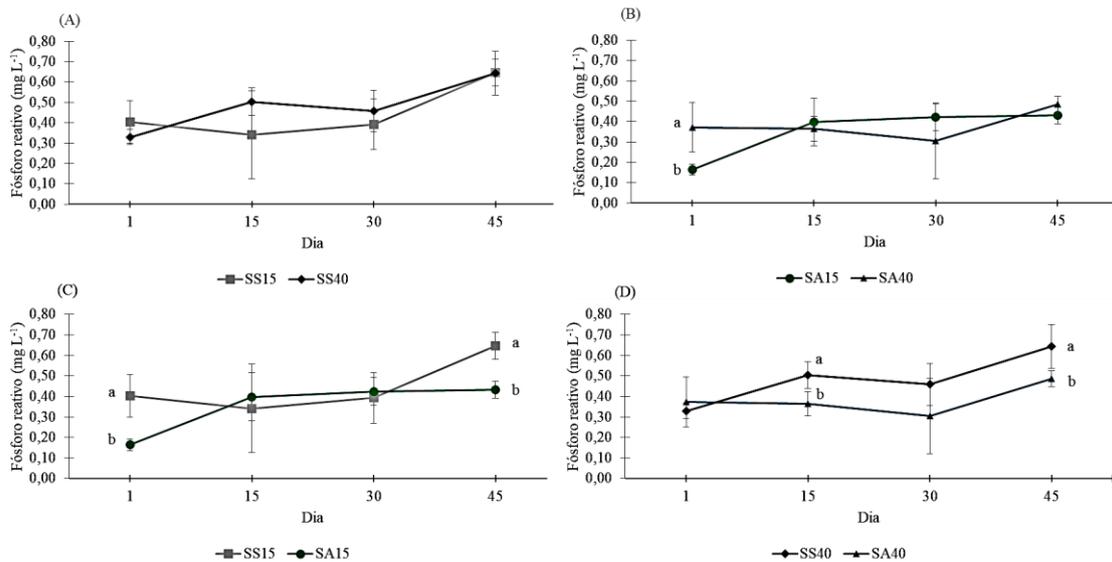


A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor de nitrato na água não diferiu entre os sistemas de cultivo com e sem plantas, independentemente da salinidade ($p > 0,05$; Figura 7C e 7D). As reduções nas concentrações de nitrato da água nos tanques aquapônicos são motivadas pela absorção pelas plantas halófitas. A assimilação ocorre após ocorrerem os processos de nitrificação e desnitrificação, liberando NH_4^+ e NO_3^- para água, sendo assimiladas pelas plantas (KUDO; FUJIYAMA, 2010).

A concentração final de fósforo reativo na água aumentou em relação ao início. A salinidade não afetou a concentração de fósforo na água quando as plantas estavam ausentes (Figura 8A). Exceto dia 1, os tanques SA40 e SA15 não diferiram de modo significativo para concentração de fósforo reativo (Figura 8B). Diferentemente, Pinheiro *et al.* (2020) relataram que o aumento da salinidade favoreceu a redução de fósforo nos tanques de cultivo. O aumento da concentração de fósforo ao longo do cultivo se deve ao fornecimento de ração aos camarões. As dietas usadas na carcinicultura contém fósforo em sua constituição e tende a se acumular na água do tanque de cultivo. O fósforo é geralmente removido do sistema de cultivo através de métodos físico, químicos e biológicos.

Figura 8 - Concentração de fósforo reativo na água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.



A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

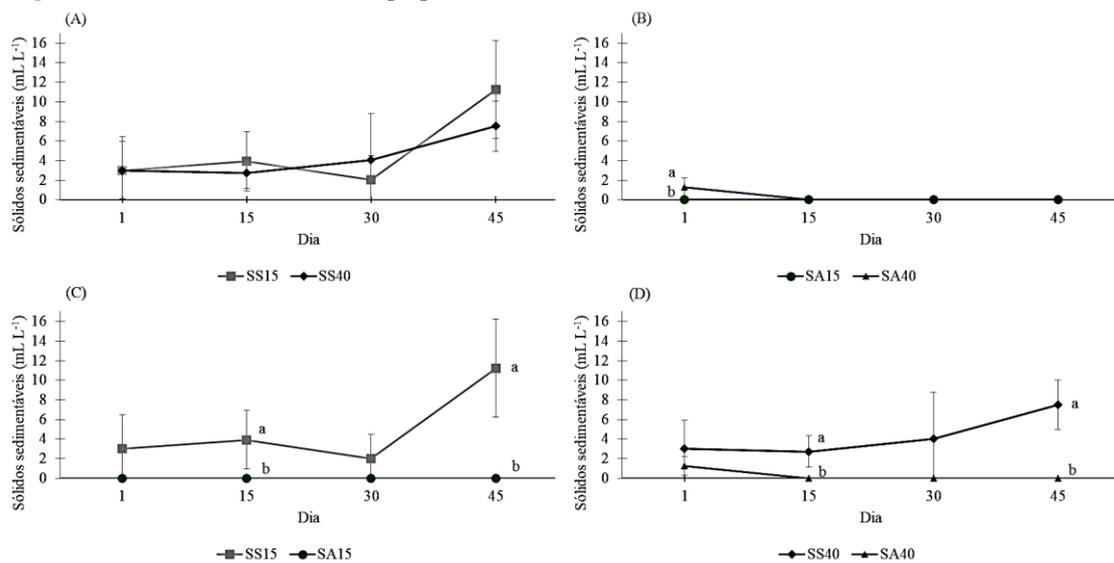
O sistema de cultivo afetou a concentração de fósforo reativo na água. Nos dias 1 e 45, os tanques com plantas reduziram a concentração de fósforo na água em relação aos tanques sem plantas, quando mantidos na salinidade 15 ($p \leq 0,05$; Figura 8C). De modo semelhante, nos dias 15 e 45 a concentração de fósforo foi menor nos tanques com plantas do que aqueles sem plantas na salinidade 40 ($p \leq 0,05$; Figura 8D). Boxman *et al.* (2018) avaliaram a capacidade de tratamento de água, ciclagem de nutrientes e produção de biomassa de um sistema aquapônico marinho com *Sciaenops ocellatus*, *S. portulacastrum* e *B. marítima*. Esses autores, ao estudarem o balanço de massas, indicaram que as plantas contribuíram permanentemente, como único fator, para remoção de fósforo da água. Beyer *et al.* (2021) indicaram que a halófita *S. neei* cultivadas com efluente de piscicultura tiveram elevadas taxas de crescimento e produtividade, com alta eficiência na remoção de amônia, fosfato e nitrato, além do acúmulo de compostos orgânicos C, N e P e adaptabilidade a altas concentrações de sais, podendo atuar como biofiltro.

A salinidade não afetou a concentração de sólidos sedimentáveis na água dos tanques sem plantas (SS) por todo período experimental (Figura 9A). Já para os tanques com plantas foi observado diferença significativa no dia 1, entre os tanques SA15 E SA40, para concentração de sólidos sedimentáveis na água ($P \leq 0,05$; Figura 9B). Posteriormente, esses tratamentos apresentaram tendencia de redução, mas sem diferenças entre eles. O acúmulo de sólidos no sistema de cultivo é devido as sobras de ração, fezes dos camarões e biomassa bacteriana (RAY *et al.*, 2010). Os valores encontrados estão dentro da faixa recomendada para camarões, ou seja,

entre 5 e 15 ml L⁻¹ (BARBOSA *et al.*, 2022). O excesso de sólidos pode prejudicar a respiração dos camarões, pela colmatção das brânquias, e afetar o crescimento das plantas por se acumularem nas raízes (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006).

Ao final do período experimental, a presença de plantas nos tanques de cultivo reduziu significativamente os sólidos da água em relação aos tanques sem plantas, tanto na salinidade 15 quanto na 40 (Figura 9C e 9D). Como demonstrado em outros estudos (BARBOSA *et al.*, 2022; SCHARDONG; MORO; BONILLA, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2017), as plantas são efetivas na redução de sólidos na água que podem ficar retidos nas raízes. A matéria orgânica presente nos sólidos, quando decompostas, liberam nutrientes inorgânicos que auxiliam no desenvolvimento das plantas (DELAIDE *et al.*, 2016).

Figura 9 - Concentração de sólidos sedimentáveis (SS) na água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades.



A cada dia experimental, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados das variáveis de qualidade de água reforçam a capacidade das plantas utilizadas no sistema aquapônico em reduzir, principalmente, as concentrações de sólidos e fósforo da água. Com a melhoria da qualidade de água, espera-se que os animais cultivados consigam ter maior crescimento.

4.2 Desempenho das plantas

A salinidade da água afetou de modo distinto as variáveis de crescimento das plantas. O desempenho produtivo da halófito *S. portulacastrum* diferiu significativamente de acordo com a salinidade. As plantas tiveram índices produtivos maiores na salinidade 15 do que em 40 ($p \leq 0,05$; Tabela 2). Slama *et al.* (2015) investigaram os efeitos do déficit hídrico aplicado

isoladamente ou combinado com a salinidade sobre *S. portulacastrum*. Esses autores relataram que a salinidade atenuou os efeitos deletérios do estresse hídrico no crescimento e levou a um aumento na assimilação líquida de gás carbônico (CO₂) e na condutância estomática. Já Boxman *et al.* (2018) obtiveram os índices de sobrevivência e biomassa total de 100% e 684 ± 130g peso seco m⁻², respectivamente, cultivadas em um protótipo de sistema aquapônico marinho em escala comercial.

Não foi detectada diferença significativa entre os dados de desempenho produtivo da halófito *S. neei* nas diferentes salinidades (p>0,05; Tabela 2). De Souza *et al.* (2018) também não encontraram efeito significativo da salinidade (0,006; 1,989; 5,031; 10,003; 30,010 e 44,986 g L⁻¹ de NaCl). Sobre o crescimento de duas variedades de *S. neei*. Esses autores indicaram que, para sustentar o crescimento sob estresse salino, os genótipos de *S. neei* regulam seus mecanismos fisiológicos relacionados à suculência, produção de pigmentos fotoprotetores e metabólitos antioxidantes.

A sobrevivência da halófito *B. maritima* não foi afetada pelos dois níveis de salinidade da água (p>0,05; Tabela 2). Com o aumento da salinidade de 15 para 40, houve uma piora significativa nos índices de desempenho da *B. maritima* (p≤0,05; Tabela 2). No estudo de Boxman *et al.* (2018), a halófito *B. maritima* atingiu taxa de sobrevivência de 30% e biomassa de 77,4 ± 14g PS m⁻². Schardong, Moro e Bonilla (2020) realizou um experimento de bancada usando um sistema aquapônico para verificar a interação entre o crescimento das halotófitas *B. maritima*, *S. ambigua* e *S. virginicus* associados com o cultivo do camarão *L. vannamei*. Nesse estudo a *B. maritima* apresentou índices de sobrevivência de 70%, TCR de 0,037 g.g⁻¹.d⁻¹, TCA de 0,283 g.d⁻¹ e produtividade de 1826,25 g.m⁻², após 56 dias de cultivo e com salinidade final de aproximadamente 40 g.L⁻¹.

Tabela 2 – Sobrevivência, Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), biomassa inicial, biomassa final, ganho de biomassa total e produtividade de mudas de *Sesuvium portulacastrum*, *Salicornia neei* e *Batis maritima* mantidas em sistema de aquaponia e em diferentes salinidades (média \pm d.p).

Variável	Salinidade	Planta		
		<i>S. portulacastrum</i>	<i>S. neei</i>	<i>B. maritima</i>
Sob. (%)	15,0	100,00 \pm 0,00 A ¹	97,50 \pm 2,50	97,50 \pm 2,50
	40,0	96,67 \pm 3,33 B	92,50 \pm 7,50	97,50 \pm 2,50
TCR (g.g ⁻¹ .d ⁻¹)	15,0	0,043 \pm 0,013 A	0,021 \pm 0,013	0,037 \pm 0,007 A
	40,0	0,001 \pm 0,006 B	0,001 \pm 0,003	0,010 \pm 0,006 B
TCA (g.d ⁻¹)	15,0	0,209 \pm 0,070 A	0,042 \pm 0,046	0,095 \pm 0,026 A
	40,0	0,004 \pm 0,018 B	0,001 \pm 0,004	0,021 \pm 0,014 B
BI (g)	15,0	46,24 \pm 17,45	6,93 \pm 2,01	7,84 \pm 1,17
	40,0	82,82 \pm 8,79	8,34 \pm 1,65	17,64 \pm 6,32
BF (g)	15,0	359,95 \pm 99,97 A	28,20 \pm 25,28	55,30 \pm 13,85 A
	40,0	86,16 \pm 23,26 B	8,75 \pm 3,63	27,58 \pm 5,92 B
GBT (g)	15,0	313,71 \pm 101,91 A	21,26 \pm 23,92	47,45 \pm 14,52 A
	40,0	3,34 \pm 26,41 B	0,41 \pm 2,63	9,94 \pm 7,12 B
Produt. (g.m ⁻²)	15,0	749,89 \pm 208,27 A	176,22 \pm 157,98	345,59 \pm 86,56 A
	40,0	179,49 \pm 48,47 B	54,69 \pm 22,68	172,34 \pm 36,98 B

ANOVA unifatorial							
Fator		Sobr.	TCR	TCA	B F	GBT	Produt.
Salinidade	<i>S. portulacastrum</i>	<=0,05	<=0,05	<=0,05	<=0,05	<=0,05	<=0,05
	<i>S. neei</i>	ns ²	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>B. maritima</i>	ns	<=0,05	<=0,05	<=0,05	<=0,05	<=0,05

¹Para uma mesma variável, médias com diferentes letras maiúsculas numa coluna, são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $p \leq 0,05$); ausência de letras indica não há diferença significativa entre as médias ($p > 0,05$); ²Não significativo (ANOVA $P > 0,05$).

A TCR, em altura, para *S. portulacastrum* diferiram significativamente entre si para as salinidades 15 e 40 ($p \leq 0,05$; Tabela 3). Para essa mesma planta, a TCA, em altura, foi maior em salinidade 15 do que em salinidade 40 ($p \leq 0,05$; Tabela 3). Para essas mesmas variáveis de crescimento, as halófitas *S. neei* e *B. maritima* demonstraram tendência de maiores valores na salinidade 15 do que em 40 (Tabela 3). Os valores de TCR e TCA do presente estudo foram semelhantes aos obtidos por Alves *et al.* (2020b) para *S. neei* em cultivo com diferentes regimes de irrigação e adubação e, baixas se comparadas com os resultados referentes a Schar Dong, Bonilla e Santaella (2018).

As três halófitas usadas no experimento apresentaram, de modo geral, melhores índices de crescimento na salinidade 15. Isso demonstra que, apesar de serem resistentes a ambientes com salinidades mais elevadas, as plantas maximizam seu crescimento em salinidades mais moderadas. Algumas plantas halófitas, mesmo em situações de estresse, podem continuar crescendo e se nutrindo pelo aumento da eficiência do uso de água (SLAMA

et al., 2015). Plantas halófitas sob condições de elevada salinidade continuam realizando um maior ajuste osmótico para se adequar ao meio, diminuindo assim suas taxas de crescimento (LOKHANDE *et al.*, 2013).

Tabela 3 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) de mudas de *Sesuvium portulacastrum*, *Salicornia neei* e *Batis maritima* mantidas em sistema de aquaponia e em diferentes salinidades (média \pm d.p).

Variável	Salinidade	Planta		
		<i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Salicornia neei</i>	<i>Batis maritima</i>
TCR (cm.cm ⁻¹ .d ⁻¹)	15,0	0,004 \pm 0,007 A ¹	0,022 \pm 0,005	0,034 \pm 0,004
	40,0	0,009 \pm 0,006 B	- 0,004 \pm 0,010	0,018 \pm 0,015
TCA (cm.d ⁻¹)	15,0	0,874 \pm 0,147 A	0,393 \pm 0,109	0,552 \pm 0,098
	40,0	0,324 \pm 0,092 B	0,220 \pm 0,060	0,421 \pm 0,088
ANOVA unifatorial				
Fator			TCR	TCA
Salinidade	<i>S. portulacastrum</i>		$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
	<i>S. neei</i>		ns ²	ns
	<i>B. maritima</i>		Ns	ns

¹Para uma mesma variável, médias com diferentes letras maiúsculas numa coluna, são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $p \leq 0,05$); ausência de letras indica não há diferença significativa entre as médias ($p > 0,05$); ²Não significativo (ANOVA $p > 0,05$).

A *B. maritima* demonstra índices de crescimento maiores quando mantida em salinidade inferior a 20, principalmente quando o nível de lixiviação está entre 0,25 e 0,50 (NOAMAN; EL-HADDAD, 2000). As halófitas do gênero *Salicornia* apresentam redução no crescimento quando irrigadas com água com salinidade superior à da água do mar (VENTURA *et al.*, 2011). Para essas halófitas, a salinidade ideal está entre 8 e 17 g.L⁻¹ (PINHEIRO *et al.*, 2020; ROZEMA; SCHAT, 2013; VENTURA *et al.*, 2011). Para *S. portulacastrum*, o crescimento é maximizado em ambientes com concentração de 5,85 a 23,38 g L⁻¹ de NaCl, suportando até 58,5 g L⁻¹ sem quaisquer sintomas tóxicos nas folhas (LOKHANDE *et al.*, 2013).

4.3 Metais pesados

Dentre os elementos metálicos analisados na água de cultivo, apenas chumbo e cobre apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). A salinidade afetou a concentração de Pb de modo distinto. Nos tanques com plantas (SA15 e SA40), não houve diferença significativa entre os dois níveis de salinidade.

Tabela 4 – Concentrações finais de arsênio, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, manganês, níquel e zinco da água de cultivo de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em sistema aquaponia com diferentes salinidades (média \pm d.p).

Variável	Salinidade	Aquaponia	
		Não	Sim
Arsênio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	2,00 \pm 0,00	2,00 \pm 0,00
	40,0	2,00 \pm 0,00	2,00 \pm 0,00
Cádmio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	0,20 \pm 0,00	0,20 \pm 0,00
	40,0	0,25 \pm 0,09	0,20 \pm 0,00
Chumbo ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	4,60 \pm 0,24 Aa ¹	2,00 \pm 0,00 Ab
	40,0	2,00 \pm 0,00 Ba	2,00 \pm 0,00 Aa
Cobalto ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00
	40,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00
Cobre ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	43,03 \pm 10,59 a	32,00 \pm 3,92 a
	40,0	44,70 \pm 7,84 a	26,55 \pm 11,39 b
Manganês ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	102,40 \pm 158,32	6,00 \pm 0,00
	40,0	23,05 \pm 9,74	6,00 \pm 0,00
Níquel ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00
	40,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00
Zinco ($\mu\text{g L}^{-1}$)	15,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00
	40,0	6,00 \pm 0,00	6,00 \pm 0,00

Fator	ANOVA bifatorial							
	As	Cd	Pb	Co	Cu	Mn	Ni	Zn
Salinidade	ns ²	ns	$\leq 0,05$	ns	ns	ns	ns	ns
Plantas	ns	ns	$\leq 0,05$	ns	$\leq 0,05$	ns	ns	ns
Sal. X Plantas	ns	ns	$\leq 0,05$	ns	ns	ns	ns	ns

¹Para uma mesma variável, médias com diferentes letras minúsculas e maiúsculas, na linha e na coluna, respectivamente, são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $p \leq 0,05$); ausência de letras indica não há diferença significativa entre as médias ($p > 0,05$); ²Não significativo (ANOVA $p > 0,05$).

Diferentemente, em tanques sem plantas a concentração de Pb foi significativamente maior nos tanques SS15 do que em SS40 ($p \leq 0,05$). Já para concentração de cobre na água, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre tanques com salinidade 15 e 40. De modo contrário, Khella (2018) indicou que a absorção de metais pesados pode variar de acordo com a salinidade. A autora avaliou o crescimento da *S. portulacastrum* submetida aos efeitos individuais e combinados de diferentes concentrações de chumbo (Pb) (0; 0,3; 0,6 e 0,9 g L⁻¹) e diferentes níveis de salinidade (0; 4 e 8 g L⁻¹) com aplicação de EDTA a 5%. Como resultado, a concentração de Pb de 0,9 g L⁻¹ prejudicou o crescimento da planta, mas a combinação de Pb de 0 e 0,3 g L⁻¹ e salinidade de 8 g L⁻¹ aumentou a altura das plantas, número de raízes/planta, peso seco da parte aérea e raízes e carotenoides. O aumento da salinidade do solo resulta em

elevação da transferência de metais pesados das raízes para a parte aérea da planta (MANOUSAKI *et al.*, 2008).

O sistema de cultivo com e sem plantas induziu efeitos significativos diferenciados para o teor de Pb na água. Exceto para os tanques SS40 e SA40, as concentrações de Pb na água foram maiores ($p \leq 0,05$) nos tanques sem plantas (SS15) do que nos tanques com plantas (SA15) (Tabela 4). Algumas plantas halófitas tem se destacado pelo potencial fitorremediador de ambientes contaminados por metais pesados. Zaier *et al.* (2010) relatam que *S. portulacastrum* atua como eficiente extrator de Pb^{2+} , além de não serem afetadas pela concentração de $1.000 \mu M$ de Pb^{2+} . Meza *et al.* (2018) indicaram que *S. neei* pode ser uma planta potencial para atuar como fitorremediadora de solos contaminados por metais pesados em zonas úmidas costeiras, pois absorve grandes concentrações de Pb e Cu, uma vez que os acumula e cresce mesmo em solos com altos teores de Na.

As plantas halófitas possuem mecanismos de absorção de micronutrientes através da produção de agentes quelantes a partir da raiz que induzem uma mudança de pH e resultam em reação redox no solo (CAPARRÓS *et al.*, 2022). Algumas halófitas necessitam para o seu crescimento e desenvolvimento certos micronutrientes que são metais pesados como Co, Cu, Fe e Zn (CHIBUIKE; OBIORA, 2014).

A concentração de cobre na água demonstrou comportamento distinto entre os fatores aquaponia e salinidade. Para esse último fator, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para concentração de cobre. No fator aquaponia, os tanques SS15 e SA15 não diferiram significativamente entre si ($p > 0,05$) para concentração de cobre na água. Entretanto, nos tanques SS40 o teor de cobre foi maior ($p \leq 0,05$) do que nos tanques SA40. Deswati *et al.* (2020) investigaram o efeito de diferentes filtros empregados em um sistema de bioflocos integrado com um aquapônico sobre as concentrações de íons metálicos. Ao final desse estudo, foram obtidos valores mínimos e máximos de $0,0036$ e $0,02260 \text{ mg L}^{-1}$ de Cu, respectivamente, em tanque hidropônico com *Brassica juncea*. Esses valores são inferiores aos obtidos no presente estudo.

4.4 Desempenho zootécnico

As variáveis de crescimento sobrevivência, biomassa final e produtividade apresentaram comportamento semelhante diante dos diferentes regimes experimentais (Tabela 5). Para essas mesmas variáveis, os valores foram maiores ($P \leq 0,05$) em tanques com salinidade 40 do que aqueles mantidos em salinidade 15, quando as plantas estavam ausentes. Já a

salinidade não teve efeito sobre essas variáveis quando os camarões ficaram mantidos em tanques com plantas. Os resultados obtidos por Pinheiro *et al.* (2020) para sobrevivência, biomassa final e produtividade nas salinidades 8, 24 e 32 ppt são superiores ao do presente estudo. Chu e Brown (2020) alcançaram taxa de sobrevivência e produtividade superior a 93% e 0,35 kg m⁻², respectivamente, nas três salinidades testadas (10; 15 e 20 g L⁻¹) em sistema aquapônico.

Tabela 5 – Desempenho zootécnico de camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* cultivado na presença ou ausência de sistema de aquaponia com diferentes salinidades (média ± d.p).

Variável	Salinidade	Aquaponia	
		Não	Sim
Sobrevivência (%)	15,0	68,33 ± 15,75 Aa ¹	41,67 ± 3,33 Ab
	40,0	95,00 ± 5,00 Ba	53,33 ± 12,17 Ab
PCI (g)	15,0	1,50 ± 0,06	1,49 ± 0,04
	40,0	1,47 ± 0,04	1,50 ± 0,08
PCF (g)	15,0	3,27 ± 0,37	3,40 ± 0,44
	40,0	3,17 ± 0,29	3,07 ± 0,13
TCE (% dia ⁻¹)	15,0	1,73 ± 0,33	1,82 ± 0,30
	40,0	1,70 ± 0,17	1,60 ± 0,17
GPS (g)	15,0	0,28 ± 0,07	0,30 ± 0,07
	40,0	0,27 ± 0,04	0,25 ± 0,03
Biomassa total final (g m ⁻³)	15,0	557,96 ± 130,43 Aa	354,75 ± 57,50 Ab
	40,0	748,50 ± 68,08 Ba	397,92 ± 114,53 Ab
Produtividade (g m ⁻³ dia ⁻¹)	15,0	12,40 ± 2,90 Aa	7,88 ± 1,28 Ab
	40,0	16,63 ± 1,51 Ba	8,84 ± 2,55 Ab

ANOVA bifatorial							
Fator	Sobrevivência	PCI	PCF	TCE	GPS	Biomassa total final	Produtividade
Salinidade	<=0,05	ns	ns	ns	ns	<=0,05	<=0,05
Plantas	<=0,05	ns	ns	ns	ns	<=0,05	<=0,05
Sal. X Plantas	ns ²	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹Para uma mesma variável, médias com diferentes letras minúsculas e maiúsculas, na linha e na coluna, respectivamente, são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA p≤0,05); ausência de letras indica não há diferença significativa entre as médias (p>0,05); ²Não significativo (ANOVA p>0,05).

Quando avaliado a influência da aquaponia sobre a sobrevivência, biomassa final e produtividade dos camarões, detectou-se que os animais cultivados em sistema de aquaponia tiveram menores (p≤0,05) valores em relação àqueles criados sem o sistema, independentemente da salinidade. Diferentemente, Schardong, Moro e Bonilla (2020) atingiram taxa de sobrevivência dos camarões *L. vannamei* de 95% em sistema aquapônico e 91% no grupo controle. Entretanto, nesse mesmo estudo, apesar de não ocorrer diferença significativa, a biomassa final foi maior no grupo controle do que aqueles mantidos em sistema

aquapônico. Para a mesma espécie de camarão estudada, Poli *et al* (2019) atingiram valores de biomassa final e de sobrevivência de 3,2 kg m⁻³ e 88%, respectivamente.

De modo geral, o desempenho de crescimento dos camarões foi inferior nos grupos mantidos em aquaponia. Provavelmente, a alta concentração de nitrito no início do estudo, principalmente no grupo SA15, pode ter causado a baixa taxa de sobrevivência dos camarões. Outro fator, não identificado ou até mesmo a baixa qualidade da pós larvas, podem ter influenciado em maior grau causando maior mortalidade dos animais. Os resultados de desempenho zootécnico não refletiram a melhoria da qualidade de água ocasionada pelas plantas halófitas.

5 CONCLUSÃO

O sistema aquapônico melhorou os índices de qualidade de água com a redução das concentrações de sólidos e fósforo. Em salinidade 40 ppm, houve redução dos níveis de oxigênio dissolvido e pH da água. A manutenção das plantas *S. portulacastrum* e *B. maritima* em salinidade 15 ppm proporcionou maiores taxas de crescimento. No sistema aquapônico, as concentrações de chumbo e cobre foram significativamente reduzidas.

Muito embora os camarões que tiveram os índices de sobrevivência, BTF e produtividade prejudicados quando cultivados em sistema aquapônico, este se mostrou eficiente na melhoria da qualidade de água vindos de cultivo de camarões, sendo indicado a salinidade de 15 ppm para a produção das plantas halófitas *S. portulacastrum* e *B. maritima*.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M. Á.; CRESPO, M. B. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). **Annales Botanici Fenicci**, v. 45, p. 241-254, 2008.
- ALVES, P. R. *et al.* Solutos orgânicos e inorgânicos em *Salicornia neei* Lag. sob lâminas de irrigação e adubação no semiárido cearense. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 360-367, 2020a.
- ALVES, P. R. *et al.* Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63592-63605, 2020b.
- ARANEDA, M.; PÉREZ, E. P.; GASCA-LEYVA, E. White shrimp *Penaes vannamei* culture in freshwater at three densities: condition state based on length and weight. **Aquaculture**, v. 283, n. 1-4, p. 13-18, 2008.
- AYYAPPAN, D.; SATHIYARAJ, G.; RAVINDRAN, K. C. phytoextraction of heavy metals by *Sesuvium portulacastrum* l. a salt marsh halophyte from tannery effluent. International journal of phytoremediation, v. 18, n. 5, p. 453-459, 2016.
- BARBOSA, P. T. L. *et al.* Nile tilapia production in polyculture with freshwater shrimp using an aquaponic system and biofloc technology. **Aquaculture**, v. 551, p. 737916, 2022.
- BARCELLOS, D. *et al.* phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 58-63, 2019.
- BEYER, C. P. *et al.* *Sarcocornia neei*: A novel halophyte species for bioremediation of marine aquaculture wastewater and production diversification in integrated systems. **Aquaculture**, v. 543, p. 736971, 2021.
- BOXMAN, S. E. *et al.* Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 5, p. 2463-2477, 2017.
- BOXMAN, S. E. *et al.* Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 299-310, 2018.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Ponds aquaculture water quality management**. Springer: Kluwer Academic Publishers, p. 700, 1998.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Water quality and pond soil analyses for aquaculture**. Auburn University, Opelika, USA, 1992. 183pp.
- BOYD, C. E.; TORRANS, E. L.; TUCKER, C. S. Dissolved oxygen and aeration in ictalurid catfish aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 49, n. 1, p. 7-70, 2018.
- BRASIL. **Novo Código Florestal**. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2012.

BRASIL- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária municipal**. Rio de Janeiro, v. 49, p. 1-12, 2021.

BUHMANN, A.; PAPENBLOCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basics principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

CAPARRÓS, P. G. *et al.* Halophytes have potential as heavy metal phytoremediators: A comprehensive review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 193, p. 104666, 2022.

CASTILLE JR, F. L.; LAWRENCE, A. L. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. **Comparative Biochemistry and physiology Part A: physiology**, v. 68, n. 1, p. 75-80, 1981.

CEARA. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME**. Disponível em: http://www.CEARA.br/?page_id=2694. Acesso em 25 jan. 2023.

CHAWLEY, P.; BANERJEE, C.; JAGADEVAN, S. Growth of planktonic and biofilm culture of *Nitrosomonas mobilis* Ms1 in response to stoichiometric ammonia consumption. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 154, p. 105080, 2020.

CHIBUIKE, G. U.; OBIORA, S. C. Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods. **Applied and environmental soil science**, v. 2014, 2014.

CHONG-ROBLES, J. *et al.* Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. **Aquaculture**, v. 422, p. 261-267, 2014.

CHU, Y. T.; BROWN, P. B. Evaluation of Pacific Whiteleg Shrimp and Three Halophytic Plants in Marine Aquaponic Systems under Three Salinities. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 269, 2020.

COSTA, C. S. B.; NEVES, L. S. Respostas Cromáticas de *Salicornia gaudichaudiana* Mog. (Chenopodiaceae) a Diferentes Níveis de Radiação UV-B e Salinidade. **Atlantica**, v. 28, n. 1, p. 25-31, 2006.

COSTA, C.S.B. *et al.* Molecular markers indicate the phylogenetic identity of southern Brazilian sea asparagus: First record of *Salicornia neei* in Brazil. **Rodriguésia**, v. 70, p. 219, 2019.

DE SOUZA, M. M. *et al.* Growth, phenolics, photosynthetic pigments, and antioxidant response of two new genotypes of sea asparagus (*Salicornia neei* Lag.) to salinity under greenhouse and field conditions. **Agriculture**, v. 8, n. 7, p. 115, 2018.

DELAIDE, B. *et al.* Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. **Water**, v. 8, n. 10, p. 467, 2016.

- DESWATI, D. *et al.* Environmental detoxification of heavy metals in flood & drain aquaponic system based on biofloc technology. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, p. 1-10, 2020.
- DIAZ, M. R. *et al.* Efficiency of *Salicornia neei* to treat aquaculture effluent from a hypersaline and artificial wetland. **Agriculture**, v. 10, n. 12, p. 621, 2020.
- DINESHKUMAR, M.; KANNAPPAN, S.; SIVAKUMAR, K. Effect of mangrove plant (*Sesuvium portulacastrum*) extract against *Vibrio harveyi* during shrimp larviculture. **Journal of Environmental Biology**, n. 1, p. 47, 2017.
- DONCATO, K. B.; COSTA, C. S. B. Nutritional potential of a novel sea asparagus, *Salicornia neei* Lag., for human and animal diets. **Biotemas**, v. 31, n. 4, p. 57-63, 2018.
- EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1-4, p. 346-358, 2006.
- FAO - Food and Agricultural Organization. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Towards Blue Transformation. Rome, FAO, 2022.
- FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. **Ocean & Coastal Management**, v. 125, p. 38-46, 2016.
- FRIESS, D. A. *et al.* Policy challenges and approaches for the conservation of mangrove forests in Southeast Asia. **Conservation Biology**, v. 30, n. 5, p. 933-949, 2016.
- KHELLA, E. A. Maximizing utilization of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. in phytoremediation of lead-contaminated saline soil by using EDTA. **Sciences**, v. 8, n. 04, p. 1301-1310, 2018.
- KOTZEN, B.; EMERENCIANO, M. G. C.; MOHEIMANI, N. BurnelAquaponics: Alternative types and approaches. **Aquaponics Food Production Systems**. p. 301–330, 2019.
- KUDO, N.; FUJIYAMA, H. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. **Pedosphere**, v. 20, n. 3, p. 311-317, 2010.
- LEE, W. M. *et al.* Effects of Solvent-extracted Fractions from *Salicornia herbacea* on Anti-oxidative Activity and Lipopolysaccharide-induced NO Production in Murine Macrophage RAW264.7 Cells. **Biomedical Science Letters**. v. 13, p. 161–168, 2007.
- LENNARD, W.; GODDEK, S. Aquaponics: The Basics. In: **Aquaponics Food Production Systems**. Springer International Publishing, p. 113–143, 2019.
- LINNAEUS, R. *et al.* The biological flora of coastal dunes and wetlands: *Batis maritima* CJ. **Coastal Res.**, v. 27, p. 441-449, 2011.
- LOCONSOLE, D.; CRISTIANO, G.; DE LUCIA, B. Glassworts: from wild salt marsh species to sustainable edible crops. **Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 14, 2019.

- LOKHANDE, V. H. *et al.* *Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 2, p. 329-348, 2013.
- LONARD, R. I.; JUDD, F. W.; STALTER, R. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Batis maritima* C. Linnaeus. **Journal of Coastal Research**, n. 3, v. 7, p. 441-449, 2011.
- LOVE, D. C.; UHL, M. S.; GENELLO, L. Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. **Aquacultural Engineering**, v. 68, p. 19-27, 2015.
- MA, X. *et al.* Iron-carbon could enhance nitrogen removal in *Sesuvium portulacastrum* constructed wetlands for treating mariculture effluents. **Bioresource Technology**, v. 325, p. 124602, 2021.
- MANOUSAKI, E. *et al.* phytoextraction and phytoexcretion of Cd by the leaves of *Tamarix smyrnensis* growing on contaminated non-saline and saline soils. **Environmental Research**, v. 106, n. 3, p. 326-332, 2008.
- MARCONE, M. F. *Batis maritima* (Saltwort/Beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearings, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. **Food Research International**, n. 2, v. 36, p. 123-130, 2003.
- MARINS, R. V. *et al.* phosphorus and suspended matter retention in mangroves affected by shrimp farm effluents in NE Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.
- MCKEE, K. L.; ROOTH, J. E.; FELLER, I. C. Mangrove recruitment after forest disturbance is facilitated by herbaceous species in the Caribbean. **Ecological Applications**, v. 17, n. 6, 1678-1693, 2007.
- MEZA, V. *et al.* *Sarcocornia neei* as an indicator of environmental pollution: A comparative study in coastal wetlands of central Chile. **Plants**, v. 7, n. 3, p. 66, 2018.
- MILBRANDT, E.C.; TINSLEY, M.N. The role of saltwort (*Batis maritima* L.) in regeneration of degraded mangrove forests. **Hydrobiologia**, v. 568, p. 369-377, 2006.
- MIRANDA, F. R. *et al.* Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. **Aquacultural Engineering**, v. 39, n. 1, p. 1-5, 2008.
- MUCHATE, N. S. *et al.* physiological responses of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* to salt stress and their relevance for saline soil bio-reclamation. **Flora**, v. 224, p. 96-105, 2016.
- NOAMAN, M. N.; EL-HADDAD, E. S. Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on the growth of six halophyte species. **The Journal of Agricultural Science**, v. 135, n. 3, p. 279-285, 2000.
- NUNES, A. J. P. O Cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em águas oligohalinas. **Panorama da Aquicultura**, v. 11, n. 66, p. 26-35, 2001.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, n. 47, p. 1-15, 2016.

PAULA, A. L.S.; LIMA, B. K. S.; MAIA, R. C. The recovery of a degraded mangrove in Ceará through the Production of *Laguncularia racemosa* (L.) CF Gaertn.(Combretaceae) and *Avicennia* sp. Stapf ex Ridl (Acanthaceae) seedlings. **Revista Árvore**, v. 40, p. 377-385, 2016.

PINHEIRO, I. *et al.* Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. **Aquaculture**, v. 519, p. 734918, 2020.

PINHEIRO, I. *et al.* Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 261-267, 2017.

POLI, M. A. *et al.* Integrated multitrophic aquaculture applied to shrimp rearing in a biofloc system. **Aquaculture**, v. 511, p. 734274, 2019.

POLIDORO, B. A. *et al.* The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. **PloS one**, v. 5, n. 4, p. e10095, 2010.

QUINTÃ, R. *et al.* Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. **Chemosphere**, v. 120, p. 414-421, 2015.

QUEIROZ, H. M. *et al.* Nitrogen mineralization and eutrophication risks in mangroves receiving shrimp farming effluents. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 34941-34950, 2020.

RAKOCY, J. E. Aquaponics: integrating fish and plant culture. **Aquaculture production systems**, v. 1, p. 343-386, 2012.

RAKOCY, J.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: **Aquaponics–Integrating fish and Plant Culture**. SRAC Publication No. 454. Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture, 16 p., 2006.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RAY, A. J. *et al.* Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimalexchange, superintensive culture systems. **Aquaculture**, v. 299, n. 1-4, p. 89-98, 2010.

RIBEIRO, L. F.; SOUZA, M. M.; BARROS, F. Desafios da carcinicultura: aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, p. 365-383, 2014.

ROY, L. A. *et al.* Shrimp culture in inland low salinity waters. **Reviews in Aquaculture**, v. 2, n. 4, p. 191–208, 2010.

ROZEMA, J.; SCHAT, H. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 83-95, 2013.

SÁ, M.V.C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

SANTOS, L. C. M. *et al.* Socio-ecological assessment for environmental planning in coastal fishery areas: a case study in Brazilian mangroves. **Ocean & coastal management**, v. 138, p. 60-69, 2017.

SANTOS, S. S; BENEVIDES, E. C. Impactos sócioambientais causados pela carcinicultura no manguezal da APA do estuário do rio Mundaú. **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 2, n. 2, 2007.

SCHARDONG, R. M. F.; BONILLA, O. H.; SANTAELLA, S. T. Cultivo de *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* com água residuária do cultivo de *Litopenaeus vannamei*. **Biotemas**, v. 31, n. 2, p. 19-32, 2018.

SCHARDONG, R. M. F.; MORO, M. F.; BONILLA, O. H. Aquaponic System with White Shrimp *Litopenaeus vannamei* Rearing and Production of the Plants *Batis maritima*, *Sarcocornia neei* and *Sporobolus virginicus*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, 2020.

SLAMA, I. *et al.* Water deficit stress applied only or combined with salinity affects physiological parameters and antioxidant capacity in *Sesuvium portulacastrum*. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 213, p. 69-76, 2015.

TANCREDO, K. R. *et al.* **Impactos ambientais da carcinicultura brasileira**. In: International Workshop Advances in Cleaner Production. 2011.

THOMAS, R. M. *et al.* Utilization of Inland saline underground water for bio-integration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and spinach (*Spinacia oleracea*). **Agricultural Water Management**, v. 222, p. 154-160, 2019.

VALENTI, W. C. *et al.* Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, p. 100611, 2021.

VENTURA, Y. *et al.* Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 3, p. 189-196, 2011.

VILLARREAL, M. R. *et al.* Perennial halophyte *Salicornia neei* Lag.: Cell wall composition and functional properties of its biopolymers. **Food Chemistry**, v. 350, p. 128659, 2021.

VILLAVICENCIO, C. B. **As herbáceas *Sesuvium portulacastrum* (aizoacea) e *Batis marítima* (batacea) facilitam o estabelecimento e crescimento de *Avicennia germinans* (acanthaceae) em um manguezal em recuperação na apa do estuário do Rio Pacoti, Ceará, Brasil**. 2020. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, 2020.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: a review **Ecol. Eng.**, v. 73, p. 724-751, 2014.

WONGKIEW, S. *et al.* Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 125, p. 24-32, 2017.

WYBAN, J.; WALSH, W. A.; GODIN, D. M. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 138, n. 1-4, p. 267-279, 1995.

YU, Q. *et al.* Growth and health responses to a long-term pH stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Reports**, v. 16, p. 100280, 2020.

ZAIER, H. *et al.* Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: tolerance and accumulation. **Journal of hazardous materials**, v. 183, n. 1-3, p. 609-615, 2010.