



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Geferson Mário Rebouças dos Santos

Cultivo aquapônico de espinafre-da-Nova-Zelândia e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades

Florianópolis - SC

2025

Geferson Mário Rebouças dos Santos

Cultivo aquapônico de espinafre-da-Nova-Zelândia e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Aquicultura e Recursos Pesqueiros.

Orientador: Prof. Walter Quadros Seiffert, Dr.

Florianópolis – SC

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Santos, Geferson Mário Rebouças dos
Cultivo aquapônico de espinafre-da-Nova-Zelândia e
camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com
diferentes salinidades / Geferson Mário Rebouças dos
Santos ; orientador, Walter Quadros Seiffert, 2025.
47 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Aquaponia Marinha. 3. BFT. 4.
Halófitas. 5. IMTA. I. Seiffert, Walter Quadros . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Aquicultura. III. Título.

Geferson Mário Rebouças dos Santos

Cultivo aquapônico de espinafre-da-Nova-Zelândia e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 31/07/2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Walter Quadros Seiffert, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Scheila Anelise Pereira Dutra, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Isabela Claudiana Pinheiro, Dra.
Alfred Wegener Institute (AWI), Alemanha

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Aquicultura da UFSC

Prof. Walter Quadros Seiffert, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2025

**Aos meus pais e irmãos,
toda minha família e amigos.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, familiares e amigos.

Ao meu orientador Walter Quadros Seiffert, ao qual acreditou em mim e sempre me deu todo apoio necessário para seguir.

A Carmen Simioni, Scheila Anelise Pereira Dutra e Felipe Boacht Vieira, por toda ajuda, conversa e orientação durante a jornada e todo apoio na parte final do mestrado.

A Talita Gagliardi, Carlos Cavalcante, Thiago César e Claudia Machado, por todo apoio e ensinamento na qualidade de água durante todo o mestrado e em especial na fase final do experimento.

A todos os amigos do LCM, que tornaram possível esta pesquisa e a vivência no LCM mais fácil: Carlos Cavalcante, Maria Helena, Jhony, Tales Ventura, Matheus, Flavia, Camila, Thalita, Thiago, Uclédia Roberta, Ramon, Francisco, Felipe, Nohra, Jucimauro.

A todos os funcionários do LCM;

Ao Luciano Gonzaga e toda a equipe do Laboratório de Química de Alimentos do CAL/UFSC e ao Prof. Jorge Barcelos do Laboratório de Hidroponia da UFSC;

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

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes salinidades sobre o desempenho zootécnico do camarão marinho *Penaeus vannamei* e o desenvolvimento da planta halófito *Tetragonia tetragonioides* cultivados em sistema aquapônico com bioflocos. O experimento foi conduzido durante 40 dias, e quatro tratamentos de salinidade (5, 10, 15 e 20 ppt), com quatro repetições cada foram avaliados. Cada unidade experimental consistiu em um tanque de 800 L para cultivo dos camarões (250 indivíduos m⁻³) acoplado a uma bancada hidropônica com 0,33 m², cultivada com 20 mudas de *T. tetragonioides*. Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial (38% PB). Avaliou-se parâmetros físico-químicos da água, desempenho zootécnico dos camarões, crescimento vegetal, área foliar, conteúdo de pigmentos fotossintéticos, atividade antioxidante, compostos fenólicos e alterações morfológicas em folhas por microscopia de luz e confocal. A salinidade influenciou significativamente os parâmetros de qualidade de água. O desempenho dos camarões foi positivamente correlacionado com o aumento da salinidade, apresentando melhores resultados em 20 ppt, incluindo maior peso final, ganho de peso semanal, biomassa e eficiência alimentar. Já o crescimento e a sobrevivência de *Tetragonia tetragonioides* foram favorecidos nas salinidades mais baixas, especialmente em 5 e 10 ppt. A área foliar apresentou redução progressiva com o aumento da salinidade, acompanhada de queda na atividade fotossintética, indicada pela menor autofluorescência dos cloroplastos e redução nos teores de clorofila total. As análises histológicas revelaram estruturas celulares mais preservadas em salinidades moderadas, com maior acúmulo de amido observado exclusivamente em 10 ppt. Em contrapartida, nas salinidades de 15 e 20 ppt, foram evidenciadas células menores, com formato irregular e indícios de desorganização estrutural. Compostos fenólicos diminuíram com o aumento da salinidade, enquanto a atividade antioxidante foi intensificada nos tratamentos mais salinos, indicando resposta adaptativa ao estresse. O cultivo integrando *P. vannamei* e *T. tetragonioides* em BFT são viáveis em diferentes níveis de salinidade, com destaque para 20 ppt para o camarão e 5–10 ppt para o espinafre, demonstrando potencial produtivo e funcionalidade ecológica do sistema.

Palavras-chave: Aquicultura, Aquaponia Marinha, Halófitas, BFT, IMTA.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of different salinities on the zootechnical performance of the marine shrimp *Penaeus vannamei* and the development of the halophytic plant *Tetragonia tetragonioides* cultivated in an aquaponic system with bioflocs. The experiment was conducted for 40 days, testing four salinity levels (5, 10, 15, and 20 ppt), each with four replicates. Each experimental unit consisted of an 800 L tank for shrimp culture (250 individuals m⁻³) connected to a 0.33 m² hydroponic bed planted with 20 seedlings of *T. tetragonioides*. Shrimps were fed four times daily with commercial feed (38% crude protein). Water physicochemical parameters, shrimp performance, plant growth, leaf area, photosynthetic pigment content, antioxidant activity, phenolic compounds, and morphological changes in leaves (via light and confocal microscopy) were evaluated. Salinity significantly influenced water quality parameters. Shrimp performance was positively correlated with increasing salinity, with the best results observed at 20 ppt, including higher final weight, weekly weight gain, biomass, and feed efficiency. Conversely, the growth and survival of *T. tetragonioides* were favored at lower salinities, particularly at 5 and 10 ppt. Leaf area decreased progressively with increasing salinity, accompanied by a reduction in photosynthetic activity, indicated by lower chloroplast autofluorescence and decreased total chlorophyll content. Histological analyses revealed better-preserved cellular structures at moderate salinities, with greater starch accumulation observed exclusively at 10 ppt. In contrast, at 15 and 20 ppt, smaller, irregularly shaped cells with signs of structural disorganization were observed. Phenolic compound content decreased with increasing salinity, whereas antioxidant activity intensified under higher salinity conditions, indicating an adaptive response to stress. The integrated culture of *P. vannamei* and *T. tetragonioides* in a biofloc-based aquaponic system proved feasible across different salinity levels, with optimal conditions at 20 ppt for shrimp and 5–10 ppt for spinach, demonstrating both productive potential and ecological functionality of the system.

Keywords: Aquaculture, Marine Aquaponics, Halophytes, BFT, IMTA

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Folhas de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão-branco-do-Pacífico (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades..... 30
- Figura 2:** Micrografias de cortes transversais da folha *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão-branco-do-Pacífico (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades e coradas com azul de toluidina (a–d) e ácido periódico de Schiff (PAS) (e–h). 32
- Figura 3:** Autofluorescência dos cloroplastos da folha de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades. 33
- Figura 4:** Teores de clorofila total e carotenoides ($\mu\text{g/g}$ de massa fresca) em folhas de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com bioflocos e camarão (*Penaeus vannamei*) sob diferentes salinidades. 34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Valores das variáveis de qualidade de água no cultivo aquapônico com bioflocos de *Tetragonia tetragonoides* e *Penaeus vannamei* por 40 dias. 28
- Tabela 2:** Valores das variáveis de desempenho do crescimento do camarão no cultivo aquapônico com bioflocos integrado com *Tetragonia tetragonoides* por 40 dias. O desempenho está expresso em peso fresco em ambos os casos. 29
- Tabela 3:** Valores das variáveis de desempenho do crescimento das plantas *Tetragonia tetragonoides* no cultivo aquapônico com bioflocos integrada com *Penaeus vannamei* por 40 dias. O desempenho está expresso em peso fresco. 29
- Tabela 4:** Valores dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante da planta *Tetragonia tetragonoides* cultivada em aquaponia com *Penaeus vannamei* em BFT por 40 dias. 34
- Tabela 5:** Concentração e proporção dos principais íons da água do mar e água nos tanques de *Penaeus vannamei* no sistema aquapônico com diferentes salinidades. 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BFT – Tecnologia de bioflocos
- BOA – Bactérias oxidantes de amônia
- BON – Bactérias oxidantes de nitrito
- C:N – Relação entre carbono e nitrogênio
- CaCO₃ – Carbonato de cálcio
- Cl – Cloro
- DPPH – Radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
- FCA – Fator de conversão alimentar
- K – Potássio
- MF – Matéria fresca
- Mg – Magnésio
- N – Nitrogênio
- Na – Sódio
- NaCl – Cloreto de sódio
- NAT – Nitrogênio amoniacal total
- NFT – técnica de filme nutriente, do inglês *Nutrient Film Technique*
- NH₃ – Amônia não ionizada ou amônia
- NH₄⁺ - Amônia ionizada ou amônio
- NO₂ – Nitrito
- NO₃ – Nitrato
- P – Fósforo
- PO₄ – Ortofosfato
- PPT– unidade prática de salinidade
- SST – Sólidos suspensos totais
- SSV – Sólidos suspensos voláteis
- TEAC – Capacidade antioxidante equivalente ao Trolox

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	REVISÃO	15
2.1	O CAMARÃO <i>Penaeus vannamei</i> E A TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (BFT) .	15
2.2	PLANTAS HALÓFITAS EM SISTEMAS AQUAPÔNICOS	16
2.3	<i>Tetragonia tetragonioides</i> (PALL.) KUNTZE EM SISTEMAS AQUAPÔNICOS .	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	OBJETIVO GERAL	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4	ARTIGO CIENTÍFICO	19
4.1	INTRODUÇÃO	22
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.2.1	Camarões e plantas	23
4.2.2	Delineamento experimental e unidades experimentais - UE	23
4.2.3	Análise de qualidade de água	24
4.2.4	Índices de desempenho dos camarões e plantas	24
4.2.5	Morfologia geral - determinação da área total da folha	24
4.2.6	Microscópio de luz – análises histoquímicas	25
4.2.7	Microscopia confocal de varredura a laser (MCVL) - ANÁLISE DA autofluorescência dos cloroplastos	26
4.2.8	Extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos	26
4.2.9	Análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais em <i>T. tetragonioides</i>	26
4.3	ANÁLISE DOS DADOS	27
4.4	RESULTADOS	27
4.4.1	Parâmetros de qualidade de água	27
4.4.2	Desempenho dos camarões	28
4.4.3	Desempenho das plantas	29
4.4.3.1	Desempenho do crescimento	29
4.4.3.2	Área foliar	30
4.4.3.3	Morfologia foliar e variação histológica	31
4.4.3.4	Autofluorescência dos Cloroplastos	32
4.4.3.5	Clorofila Total e Carotenoides	33

4.4.3.6	Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante	34
4.5	DISCUSSÃO	35
4.5.1	Qualidade de água	35
4.5.2	Desempenho dos camarões	35
4.5.3	Desempenho das plantas	36
4.6	CONCLUSÃO	40
4.7	AGRADECIMENTOS	40
4.8	FINANCIAMENTO.....	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de desenvolver sistemas sustentáveis de produção para atender ao aumento da população mundial coincide com os objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (ONU, ODS). Para enfrentar este desafio, novas abordagens de produção são essenciais, e nessa conjuntura a aquicultura tem se mostrado como uma alternativa viável aos sistemas tradicionais de produção animal, a qual apresenta crescimento expressivo e recordes históricos de produção (FAO, 2022). No entanto, para garantir a sustentabilidade é fundamental adotar tecnologias que além de aumentar a produtividade, minimizem os impactos ambientais e a utilização dos recursos naturais. Assim, o sistema de bioflocos (BFT, do inglês *Biofloc Technology*) surge como uma solução promissora.

O BFT consiste na manutenção de bactérias capazes de absorver ou transformar nutrientes provenientes da ração e da excreção dos camarões, formando agregados de microrganismos que são denominados de bioflocos, que tem como função contribuir diretamente na manutenção da qualidade da água, bem como servir de fonte de alimento suplementar (AVNIMELECH, 2012). Contudo, à medida que a densidade de estocagem aumenta e as taxas de renovação de água diminuem, o sistema BFT tende a acumular nutrientes, especialmente nitratos e ortofosfatos, necessitando de remoção para não prejudicar os camarões cultivados e tão pouco o meio ambiente (corpo receptor) (QUINTÃ et al., 2015). Uma solução possível para utilização desse excedente, como também do aumento do aproveitamento destes nutrientes por outros organismos, seria por meio da Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA, do inglês *Integrated Multitrophic Aquaculture*).

Sistemas aquícolas que produzem culturas adicionais a partir do subproduto da cultura principal são denominados sistemas integrados. Assim, a IMTA consiste em dois ou mais grupos funcionais que estão conectados troficamente por fluxos de nutrientes (DUNBAR et al., 2020) de forma que uma espécie aproveita os nutrientes orgânicos e/ou inorgânicos não consumidos ou excretados pela outra.

A implementação da IMTA ao sistema BFT tem o potencial de proporcionar uma série de vantagens. Dentre elas, pode-se destacar o aumento da retenção de nutrientes no sistema, a redução da quantidade e concentração de nutrientes no efluente, a ampliação da diversificação da produção, o aprimoramento da produtividade do sistema e a manutenção da qualidade da

água, promovendo assim a saúde e um melhor crescimento dos camarões (LEGARDA et al., 2021; KHANJANI et al., 2022; MORAIS et al., 2023).

Nesse sentido, a incorporação de uma espécie fotossintética ao cultivo pode aumentar a sustentabilidade tanto ambiental quanto econômica promover a redução dos poluentes inorgânicos, produzir um subproduto com potencial de valorização no mercado e diversificar a produção da atividade aquícola. Esta diversificação, que integra plantas ao sistema, sem solo (hidroponia), sejam elas aquáticas ou terrestres, à criação de animais aquáticos, recebe o nome de aquaponia (TIMMONS; EBELING 2010, GODDEK et al. 2019).

A aquaponia consiste na associação do sistema hidropônico de produção de plantas com a água ou efluente da produção aquícola (RAKOCY, 2006; TIMMONS e EBELING, 2010; GODDEK et al., 2019), sendo mais frequentemente utilizada na carcinicultura e piscicultura. No sistema IMTA marinho, o uso de plantas halófitas como espécies altamente tolerantes ao sal integrada ao cultivo de camarões da espécie *Penaeus vannamei* vem ganhando destaque por apresentar resultados promissores em termos de crescimento e retenção de nutrientes (MENDES et al., 2018; PINHEIRO et al., 2017, 2020).

As plantas classificadas como halófitas possuem características fisiológicas e morfológicas muito bem adaptadas que lhes conferem tolerância à salinidade e lhes permitem completar o seu ciclo de vida (FLOWERS et al., 2008), bem como de proliferar em ambientes com altas concentrações de sal (VERNON'; BOHNERT, 1992; KHAN; DUKE, 2001). Além disso, por serem consumidoras inorgânicas, plantas halófitas vem sendo integradas ao sistema de cultivo BFT por utilizarem compostos de nitrogênio e fosfato na água para seu crescimento (PINHEIRO et al., 2017, 2020; DONCATO E COSTA, 2023), sendo assim, também classificadas como biorremediadoras.

Dentre as halófitas de interesse, destaca-se o espinafre-da-Nova-Zelândia (*Tetragonia tetragonioides*), uma espécie comestível de hábito rasteiro, amplamente distribuída em regiões costeiras e capaz de se desenvolver sob condições de elevada salinidade (FLOWERS et al., 1977). Essa planta tem sido apontada como promissora para cultivos sustentáveis devido à sua rápida taxa de crescimento, resistência a estresses abióticos e elevado conteúdo de compostos bioativos, como fenólicos e antioxidantes (LEE et al., 2024; CHOI et al., 2020). Sua capacidade de acumular biomassa e biorremediar ambientes aquáticos ricos em nutrientes a torna uma excelente candidata para integração em sistemas aquapônicos com camarões em sistema de bioflocos.

Para suportarem altas salinidades as halófitas desenvolvem respostas adaptativas (KSOURI et al., 2012), que são caracterizadas pela riqueza em metabólitos nutricionalmente benéficos, responsáveis pelas propriedades terapêuticas da planta (GARGOURI et al., 2013; BERTIN et al., 2014; GUNNING, 2016).

Assim, a tolerância de plantas halófitas ao estresse salino, como observado em *T. tetragonoides* e sua capacidade de acumular sais em seus vacúolos e produzir biomassa sob essas condições, incita à sua utilização em estudos que avaliam o cultivo da planta integrada com a criação de camarão *P. vannamei* em sistema aquapônico em bioflocos, especialmente em condições que avaliem o nível de salinidade ideal para o desenvolvimento e otimização desta integração.

2 REVISÃO

2.1 O CAMARÃO *Penaeus vannamei* E A TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (BFT)

O camarão *Penaeus vannamei* é a espécie de maior importância econômica na carcinicultura mundial sendo amplamente cultivado em todo o mundo (FAO, 2022). Destaca-se por sua rusticidade, podendo ser cultivada em diversos sistemas de produção, apresentando altas taxas de crescimento, sobrevivência e aceitação no mercado (BARBIERI JR.; OSTRENSKY, 2002; NEORI et al., 2004). Para atender à crescente demanda de produção de forma sustentável, a tecnologia de bioflocos (BFT), tem sido uma estratégia eficaz para otimizar a qualidade da água e reduzir a necessidade de renovação constante, característica comum em cultivos convencionais.

No sistema BFT, a adição controlada de fontes de carbono favorece o crescimento de comunidades heterotróficas, que assimilam o nitrogênio amoniacal gerado pela excreção dos camarões e pela decomposição de restos de ração. A formação de bioflocos não apenas melhora os parâmetros de qualidade da água, mas também oferece uma fonte natural e renovável de alimento proteico suplementar, contribuindo para a redução dos custos de produção e para o aumento da biossegurança do cultivo (AVNIMELECH, 2012; RAY et al., 2010).

Estudos demonstram que o BFT possibilita altas densidades de estocagem sem comprometer o desempenho zootécnico dos camarões, desde que haja manejo adequado da relação carbono:nitrogênio, aeração intensa e monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos da água (QUINTÃ et al., 2015; EMERENCIANO et al., 2017). No entanto, mesmo com o controle microbiológico, a tendência de acúmulo de nitratos e ortofosfatos torna

necessária a adoção de estratégias complementares para remoção ou reaproveitamento desses nutrientes, sendo a integração com organismos fotossintéticos uma alternativa viável e sustentável.

2.2 PLANTAS HALÓFITAS EM SISTEMAS AQUAPÔNICOS

Halófitas como *Salicornia spp.*, *Sesuvium portulacastrum* e *Sarcocornia ambigua* têm sido avaliadas em sistemas aquapônicos, demonstrando bom desempenho produtivo, alta eficiência na absorção de compostos nitrogenados e fósforo, além de possuírem potencial para comercialização como hortaliças gourmet ou matéria-prima para produtos funcionais (FLOWERS et al., 2008; PINHEIRO et al., 2017, 2020; MENDES et al., 2018). A produção integrada de camarões e halófitas, além de reduzir a carga de nutrientes nos efluentes, gera uma fonte adicional de renda para os produtores, tornando o cultivo mais rentável e ambientalmente correto.

A escolha adequada da espécie vegetal é fundamental para garantir o equilíbrio nutricional do sistema e maximizar a eficiência de remoção de nutrientes. Entre as características desejáveis estão a alta taxa de absorção de nitrato e fosfato, tolerância à salinidade do meio e produção de biomassa de qualidade para uso alimentar ou ornamental. Nesse contexto, o espinafre-da-Nova-Zelândia (*Tetragonia tetragonioides*) destaca-se como uma alternativa promissora para integração em sistemas de bioflocos com camarões.

2.3 *Tetragonia tetragonioides* (PALL.) KUNTZE EM SISTEMAS AQUAPÔNICOS

Tetragonia tetragonioides (Pall.) Kuntza, comumente conhecida como espinafre-da-Nova-Zelândia, pertence à família *Aizoaceae* e é uma halófita comestível de reconhecido valor nutricional e características morfofisiológicas que a tornam apta para o cultivo em ambientes salinos e sistemas de produção sem solo, como a hidroponia e a aquaponia. É nativa das regiões costeiras frias, arenosas e rochosas, notadamente em países como Nova Zelândia, Japão, Argentina e Chile, estando atualmente amplamente distribuído pelo mundo (WILSON et al., 2000), onde é consumida como hortaliça folhosa, apresentando sabor e textura semelhantes aos do espinafre convencional (KATO et al., 1985), como cobertura ornamental do solo e para fins medicinais devido às suas características antiulcerogênicas e anti-inflamatórias (YOUSIF et al., 2010).

Estudos indicam que *T. tetragonioides* possui notável tolerância à salinidade, suportando níveis de condutividade elétrica superiores a 10 dS m⁻¹, com resposta positiva ao

crescimento em condições de salinidade moderada (NEVES et al., 2008; WILSON et al., 2000). Além disso, a planta é rica em compostos bioativos com propriedades antiulcerogênicas, antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias (CHOI et al., 2020; LEE et al., 2024). Sua elevada capacidade de absorção de íons como sódio e cloreto também a posiciona como uma espécie potencial para fitorremediação de solos e águas salinizados (ATZORI et al., 2020; HASANUZZAMAN et al., 2014).

Apesar de sua rusticidade e múltiplos usos potenciais, são escassos os estudos que avaliam o desempenho agrônomo de *T. tetragonioides* em sistemas aquapônicos com águas salobras, especialmente integrados ao cultivo de *P. vannamei* em BFT. Dessa forma, investigar as respostas da espécie a diferentes salinidades, bem como seu efeito na remoção de nutrientes e na qualidade da água, é fundamental para subsidiar a adoção dessa planta em sistemas de produção multitrófico, promovendo avanços em sustentabilidade, diversificação produtiva e geração de valor agregado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o desenvolvimento da aquaponia através de estudos sobre as respostas de crescimento, morfológicas e bioquímicas de *Tetragonia tetragonioides* no contexto da aquicultura multitrófica integrada ao cultivo de camarões em sistema de bioflocos submetidos a diferentes salinidades.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar a influência da salinidade na taxa de crescimento e na biomassa da *Tetragonia tetragonioides* no sistema de bioflocos.

Avaliar a relação entre as diferentes salinidades e a performance do camarão *Penaeus vannamei* e da planta *Tetragonia tetragonioides* cultivados em sistema de aquaponia com bioflocos.

Avaliar os efeitos de diferentes salinidades na criação aquapônica de *Tetragonia tetragonioides* e *Penaeus vannamei* em sistema de bioflocos sobre os parâmetros de qualidade água.

Analisar as alterações morfológicas nas células de *Tetragonia tetragonoides* cultivadas em diferentes níveis de salinidade em sistema aquapônico em bioflocos.

Determinar as variações nos parâmetros bioquímicos das células de *Tetragonia tetragonoides* em resposta às diferentes salinidades em sistema aquapônico em bioflocos.

Determinar as variações nos pigmentos fotossintéticos e na autofluorescência dos cloroplastos das células de *Tetragonia tetragonoides* em resposta às diferentes salinidades utilizadas em sistema aquapônico em bioflocos.

Avaliar a atividade antioxidante e os compostos fenólicos produzidos pelas plantas quando cultivadas em aquaponia com *Penaeus vannamei* em sistema de bioflocos sob diferentes níveis de salinidades.

4 ARTIGO CIENTÍFICO

Cultivo aquapônico de espinafre-da-Nova-Zelândia e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes salinidades sobre o desempenho zootécnico do camarão marinho *Penaeus vannamei* e o desenvolvimento da halófito *Tetragonia tetragonoides* cultivados em sistema aquapônico em bioflocos. Para isto, foram avaliados quatro tratamentos de salinidade 5, 10, 15 e 20 ppt, com quatro repetições cada, durante um período de 40 dias. Cada unidade experimental consistiu em um tanque de 800 L para cultivo dos camarões (250 indivíduos m^{-3}) acoplado a uma bancada hidropônica com 0,33 m^2 , cultivada com 20 mudas de *T. tetragonoides*. Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial (38% PB). Avaliou-se parâmetros físico-químicos da água, desempenho zootécnico dos camarões, crescimento vegetal, área foliar, conteúdo de pigmentos fotossintéticos, atividade antioxidante, compostos fenólicos e alterações morfológicas em folhas por microscopia de luz e confocal. A salinidade influenciou significativamente os parâmetros de qualidade de água. O desempenho dos camarões foi positivamente correlacionado com o aumento da salinidade, apresentando melhores resultados em 20 ppt, incluindo maior peso final, ganho de peso semanal, biomassa e eficiência alimentar. Já o crescimento e a sobrevivência de *T. tetragonoides* foram favorecidos nas salinidades mais baixas, especialmente em 5 e 10 ppt. A área foliar apresentou redução progressiva com o aumento da salinidade, acompanhada de queda na atividade fotossintética, indicada pela menor autofluorescência dos cloroplastos e redução nos teores de clorofila total. As análises histológicas revelaram estruturas celulares mais preservadas em salinidades moderadas, com maior acúmulo de amido observado exclusivamente em 10 ppt. Em contrapartida, nas salinidades de 15 e 20 ppt, foram evidenciadas células menores, com formato irregular e indícios de desorganização estrutural. Compostos fenólicos diminuíram com o aumento da salinidade, enquanto a atividade antioxidante foi intensificada nos tratamentos mais salinos, indicando resposta adaptativa ao estresse. Não foi possível identificar uma salinidade ótima comum para ambos os organismos. No entanto, salinidades intermediárias, como 10 e 15 ppt, podem representar um ponto de equilíbrio entre a produtividade vegetal e animal, com potencial para sistemas integrados.

Palavras-chave: Aquicultura, Aquaponia Marinha, Halófitas, BFT, IMTA.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of different salinities on the zootechnical performance of the marine shrimp *Penaeus vannamei* and the development of the halophyte *Tetragonia tetragonioides* cultivated in a biofloc-based aquaponic system. Four salinity treatments (5, 10, 15, and 20 ppt) were evaluated, each with four replicates, over a period of 40 days. Each experimental unit consisted of an 800 L tank for shrimp culture (250 individuals m^{-3}) connected to a 0.33 m^2 hydroponic bed cultivated with 20 seedlings of *T. tetragonioides*. Shrimps were fed four times daily with commercial feed (38% crude protein). Water physicochemical parameters, shrimp performance, plant growth, leaf area, photosynthetic pigment content, antioxidant activity, phenolic compounds, and morphological changes in leaves were evaluated through light and confocal microscopy. Salinity significantly influenced the water quality parameters. Shrimp performance was positively correlated with increasing salinity, showing the best results at 20 ppt, including higher final weight, weekly weight gain, biomass, and feed efficiency. In contrast, the growth and survival of *T. tetragonioides* were favored at lower salinities, particularly at 5 and 10 ppt. Leaf area showed a progressive reduction with increasing salinity, accompanied by a decrease in photosynthetic activity, indicated by lower chloroplast autofluorescence and reduced total chlorophyll content. Histological analyses revealed more preserved cellular structures at moderate salinities, with greater starch accumulation observed exclusively at 10 ppt. Conversely, at 15 and 20 ppt, smaller, irregularly shaped cells with signs of structural disorganization were observed. Phenolic compound content decreased with increasing salinity, whereas antioxidant activity intensified at higher salinities, indicating an adaptive response to stress. It was not possible to identify a single optimal salinity for both organisms. However, intermediate salinities, such as 10 and 15 ppt, may represent a balance point between plant and animal productivity, showing potential for integrated systems.

Keywords: Aquaculture, Marine Aquaponics, Halophytes, BFT, IMTA

4.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sistemas sustentáveis de produção de alimentos está alinhada aos objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (FAO, 2022). Nesse cenário, a aquicultura tem se consolidado como alternativa viável aos sistemas convencionais de produção animal, destacando-se pelo seu crescimento acelerado e uso mais eficiente dos recursos naturais.

Entre as tecnologias promissoras, destaca-se o sistema de bioflocos (BFT, do inglês *Biofloc Technology*), que favorece o aproveitamento de compostos nitrogenados por meio da ação de microrganismos heterotróficos, promovendo a melhoria da qualidade da água e fornecendo alimento suplementar aos organismos cultivados (Avnimelech, 2012). No entanto, a baixa renovação de água pode levar ao acúmulo de nitrato e fosfato, impactando negativamente o desempenho zootécnico dos animais (Quintã et al., 2015).

Nesse contexto, a Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA, do inglês *Integrated Multi-Trophic Aquaculture*) surge como estratégia para reaproveitamento de nutrientes, por meio da integração de organismos de diferentes níveis tróficos em um mesmo sistema (Dunbar et al., 2020). Quando essa abordagem é combinada à produção de vegetais sem solo, forma-se o sistema conhecido como aquaponia, que tem ganhado espaço em cultivos de camarão e peixes em ambientes salinos (Goddek et al., 2019; Timmons & Ebeling, 2010).

Entre os vegetais utilizados, as plantas halófitas se destacam por apresentarem adaptações fisiológicas que lhes conferem tolerância à salinidade elevada, além de capacidade de absorver compostos inorgânicos como amônio, nitrato e fosfato, atuando como biorremediadoras (Flowers et al., 2008; Pinheiro et al., 2020).

Dentre as halófitas de interesse, destaca-se o espinafre-da-Nova-Zelândia (*Tetragonia tetragonioides*), espécie comestível, rasteira e tolerante ao sal, com ampla distribuição em zonas costeiras (Flowers et al., 1977; Ajmal Khan, 1999). Apresenta rápido crescimento, resistência a estresses abióticos e elevado teor de compostos bioativos, como fenólicos e antioxidantes (Lee et al., 2024; Choi et al., 2020), sendo considerada promissora para cultivos sustentáveis integrados à carcinicultura.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento, os pigmentos fotossintéticos, a atividade antioxidante e as alterações morfológicas de *T. tetragonioides* cultivada sob diferentes salinidades em sistema aquapônico acoplado ao cultivo de *Penaeus vannamei* em BFT, buscando identificar a faixa salina ideal para otimização do desempenho vegetal e animal.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento durou 40 dias e foi conduzido no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado na Barra da Lagoa - Florianópolis - SC, sul do Brasil.

4.2.1 Camarões e plantas

As pós-larvas (Pl's) do camarão *Penaeus vannamei* foram obtidas de um laboratório comercial Aquatec Ltda. (Canguaretama, Rio Grande do Norte, Brasil) e transferidas para o LCM/UFSC. A fase de berçário foi realizada em sistema intensivo de bioflocos até atingirem $4,00 \pm 0,04$ g de peso médio. As Pl's foram estocadas em tanques circulares de fibra de vidro com volume útil de 40 m³ na densidade de 1.000 camarões por m³, em salinidade de 33 ppt e alimentadas seis vezes ao dia com dieta comercial com 40% de proteína bruta (Density 40 CR2, NEOVIA, Brasil).

Sementes de *Tetragonia tetragonioides* (espinafre-da-nova-zelândia) foram semeadas em bandejas de poliestireno com 128 células, preenchidas com substrato comercial, mantidas sob ambiente protegido (estufa agrícola), irrigando sempre que necessário até o estágio de 3 a 4 folhas verdadeiras, o que ocorreu por volta dos 21 dias após a semeadura. Durante esse período, foi iniciado o processo de aclimação gradual à salinidade, visando à adaptação ao sistema aquapônico.

4.2.2 Delineamento experimental e unidades experimentais - UE

O delineamento foi constituído de quatro tratamentos 5, 10, 15 e 20 ppt. Cada tratamento teve quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais, que foram distribuídas aleatoriamente na área experimental, estufa agrícola com 243m².

Cada unidade experimental (UE) foi composta por um tanque de camarão e uma bancada hidropônica circular de polietileno 1.000 L (800 L de volume útil), acoplados com aquecedor de titânio, aeração com mangueiras microperfurada, substratos artificiais para o cultivo do camarão e uma bancada hidropônica para as plantas de acordo com Pinheiro et al. 2017. As unidades experimentais receberam inóculo de biofloco maduro do berçário (20%) com salinidade de 33 ppt e povoada com 200 camarões por UE (250 camarões por m³). Água doce potável foi adicionada nos tanques até atingir o volume de 800 L e a salinidade desejada em cada tratamento, numa taxa de 2 ppt por hora, de acordo com o protocolo proposto por VAN WYK (1999a).

O sistema aquapônico composto por tubos de PVC (75mm de diâmetro x 1,10 m de comprimento), acomodados lado a lado, suportados por tubos de PVC, com uma inclinação de 4%. Cada bancada recebeu 20 mudas de *T. tetragonioides*, com uma área de plantio de 0,33 m², correspondendo a uma densidade de 60 plantas por m².

Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia (8 h, 11 h, 14 h e 17 h) com dieta comercial contendo 38% de proteína bruta (Guabitech Active 1.6 mm, Guabi, Brasil) e a quantidade fornecida foi calculada de acordo com a tabela de alimentação proposta por VAN WYK (1999b) e ajustada semanalmente de acordo com a biometria.

4.2.3 Análise de qualidade de água

Durante o período experimental, o oxigênio dissolvido e a temperatura foram monitorados duas vezes por dia, às 08h e 17h com um oxímetro digital (YSI Pro2030). A salinidade mensurada com a sonda (Eco-Sense YSI EC3) diariamente e ajustada, quando necessário. Semanalmente foram verificados o nitrato (N-NO₃) e ortofosfato (P-PO₄) de acordo com os métodos descritos na APHA (2012). As análises de nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito (N-NO₂) (STRICKLAND e PARSONS, 1972), alcalinidade (CaCO₃) (APHA, 2012), pH (pH-metro Tecnal®), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SD) e sólidos suspensos voláteis (VSS) (APHA, 2012) foram analisados duas vezes por semana.

4.2.4 Índices de desempenho dos camarões e plantas

Durante o experimento, foram realizadas biometrias semanais para monitorar o desempenho zootécnico dos camarões e ajustar a alimentação. Vinte camarões por unidade experimental foram coletados e pesados em balança de precisão e, no final do período de cultivo, todos os animais foram pesados e contados. Ao final do experimento foram avaliados sobrevivência (%), peso médio final (g), ganho em peso semanal (g por semana), biomassa final (g por tanque), produtividade (kg por m³), fator de conversão alimentar (FCA) e consumo de ração (kg por tanque). As plantas foram pesadas no início e no final do cultivo e avaliadas em relação ao peso médio final (g), a biomassa final (kg), a produção (g por m³) e a sobrevivência (%).

4.2.5 Morfologia geral - determinação da área total da folha

A área total da folha foi determinada com base em imagens obtidas com o uso de uma câmera fotográfica digital comum (resolução mínima de 12 MP), posicionada

perpendicularmente em relação às amostras. Foram utilizadas 6 folhas de cada tratamento (5, 10, 15 e 20 ups) foram cuidadosamente lavadas e posicionadas individualmente sobre uma superfície branca, plana e não refletiva, com fundo contrastante e uma escala métrica (régua milimetrada) visível ao lado de cada amostra para posterior calibração.

As imagens foram padronizadas em termos de iluminação e distância da lente à amostra para garantir consistência entre as medições. Após a captura, as imagens foram transferidas para o software ImageJ (versão 1.52a; Java 1.8.0), onde a escala foi ajustada com base na régua presente na imagem. A área total de cada folha foi delimitada manualmente utilizando a ferramenta de seleção livre ("freehand selection tool") do programa e, em seguida, calculada automaticamente.

4.2.6 Microscópio de luz – análises histoquímicas

Amostras frescas das folhas de *T. tetragonioides*, com aproximadamente 5 mm, foram inicialmente fixadas em solução de paraformaldeído a 2,5% em tampão fosfato de sódio 0,1 M. Em seguida, o material foi lavado três vezes com tampão e desidratado em soluções crescentes de etanol (30, 50, 70, 90 e 100%), conforme Bouzon et al. (2006). Para análise histológica, as amostras foram infiltradas em historesina de glicolmetacrilato e os blocos foram montados na mesma historesina adicionando-se um endurecedor. Secções de 4 µm foram preparadas com um micrótomo Leica RM 2125, utilizando lâmina de tungstênio, e dispostas em lâminas histológicas para aplicação das técnicas histoquímicas e analisadas sobre microscópio de luz.

A coloração com Azul de Toluidina (AT-O) (Gordon e McCandless 1973) foi utilizada para identificar polissacarídeos ácidos através da reação de metacromasia. As lâminas com os cortes foram coradas por cerca de 60 s, lavadas em água corrente e secas à temperatura ambiente. Posteriormente, as lâminas foram montadas em bálsamo canadense.

A coloração com ácido periódico de Schiff (PAS) (Gahan 1984) foi usada para identificar a presença de polissacarídeos neutros. As lâminas com as seções foram imersas em uma solução aquosa de ácido periódico a 1% por 15 min. Em seguida, foram lavadas em água corrente por 15 min e o reagente de Schiff foi aplicado por 20 min no escuro. Em seguida, as seções foram lavadas novamente em água corrente por 15 min, secas ao ar e montadas com bálsamo canadense.

4.2.7 Microscopia confocal de varredura a laser (MCVL) - análise da autofluorescência dos cloroplastos

Ao final do experimento, a intensidade de fluorescência dos cloroplastos de *T. tetragonioides* foi analisada em amostras de cada réplica. As observações foram realizadas em um Microscópio Confocal de Varredura a Laser (MCVL) DMI6000B (Leica TCS SP-5, Alemanha) no Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB), onde também foram capturadas as fotomicrografias.

A autofluorescência dos cloroplastos foi detectada por excitação a laser com comprimento de onda de 405 nm (violeta) e emissão registrada na faixa de 600 a 750 nm (Zitta et al., 2012). Para cada réplica, foram obtidas cinco imagens, e a intensidade dos pixels nessas áreas foi quantificada utilizando o software ImageJ.

4.2.8 Extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos

Para a extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, 0,300 mg de amostra de cada réplica foi separada e transferida para tubos de ensaio. Em seguida, foi adicionado 1,5 mL de DMSO (90%) a cada tubo. O material foi incubado em estufa a 40°C por 45 minutos (Hiscox & Israelstam, 1979). O extrato obtido foi transferido para uma microplaca e a quantificação dos pigmentos, foi realizada por meio de um espectrofotômetro (Multileitora Infinite - M200 TECAN) nos comprimentos de onda de 665, 480 e 649nm (Wellburn, 1994) no Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB). Os dados gerados foram submetidos a seguinte equação:

$$\text{Clorofila } a = 12,19 \times \text{abs}665 - 3,45 \times \text{abs}649$$

$$\text{Clorofila } b = 21,99 \times \text{abs}49 - 5,32 \times \text{abs}665$$

$$\text{Carotenoides Totais} = (1000 \times \text{abs}480 - 2,14 \text{ Chla} - 70,16 \text{ Chlb}) / 220$$

4.2.9 Análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais em *T. tetragonioides*.

Amostras de *T. tetragonioides* foram preparadas por meio da separação das folhas em relação aos caules, seguido de liofilização. Para cada unidade experimental, os extratos vegetais foram obtidos utilizando 10 g de amostra fresca da parte aérea, homogeneizados com 25 mL de metanol em banho ultrassônico (modelo 1400a, Unique, Brasil) à temperatura ambiente, durante uma hora. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10000 rpm por 5 minutos (modelo MiniSpin Plus, Eppendorf, Alemanha) e o sobrenadante foi coletado para as análises subsequentes.

Os compostos fenólicos totais foram determinados por espectrofotômetro (UV-Vis Spectro Vision SB 1810-S, China), segundo o método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965). As leituras de absorbância foram realizadas a 765 nm, e os resultados foram calculados a partir da curva padrão de solução de ácido gálico, sendo expressos em peso fresco como miligramas equivalentes ao ácido gálico por 100 g de matéria fresca (mg EAG 100 g⁻¹ MF).

O potencial antioxidante dos extratos foi determinado segundo Bertin et al. (2014), utilizando o método de sequestro do radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Brand-Williams et al., 1995), adaptado por Kim et al. (2002). A atividade antioxidante foi expressa em μmol de equivalente de Trolox por 100 g de matéria seca ($\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) (Bertin et al., 2014) e em μmol de equivalente de ácido ascórbico por 100 g de matéria seca ($\mu\text{mol AAEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) (Kim et al., 2002).

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial ($\alpha = 0,05$) (Yossa e Verdegem, 2015) utilizando o software Jamovi (The Jamovi project, 2022). A ordem do polinômio na análise de regressão foi selecionada pelo método de seleção progressiva (*forward selection*), com base no maior R^2 ajustado e no menor valor de p (Navarro e Foxcroft, 2018).

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Parâmetros de qualidade de água

Os parâmetros de qualidade de água são mostrados na tabela 1. A salinidade foi monitorada diariamente e manteve-se dentro dos limites estabelecidos para cada tratamento ao longo do experimento. Os níveis de oxigênio dissolvido permaneceram acima de 4,00 mg L⁻¹, valor dentro da faixa de conforto para *P. vannamei* (BOYD, 1989). A temperatura foi mantida similar em todos os tanques.

Considerando o efeito da salinidade, houve diferença significativa na alcalinidade entre os tratamentos, com aumento nas maiores salinidades ($p < 0,001$). Os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) também apresentaram elevações significativas com o aumento da salinidade ($p < 0,001$).

Em relação aos compostos nitrogenados, observou-se redução significativa da amônia total (N-NAT) com o aumento da salinidade ($p = 0,016$), enquanto os teores de nitrato (NO_3^- -N) aumentaram progressivamente ($p < 0,001$). O nitrito (NO_2^- -N) também apresentou variação significativa, com valores mais baixos nos tratamentos de maior salinidade ($p = 0,021$). Os ortofosfatos (PO_4^{3-} -P) aumentaram significativamente com a salinidade ($p = 0,001$), atingindo os maiores níveis em 20 ppt.

Tabela 1: Valores das variáveis de qualidade de água no cultivo aquapônico em bioflocos de *Tetragonia tetragonoides* e *Penaeus vannamei* por 40 dias.

Variável	Tratamento				p-value	R ²
	05 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt		
Salinidade (ppt)	5,5 ± 0,1	10,3 ± 0,2	15,3 ± 0,3	20,3 ± 0,3	-	-
Temperatura (°C)	27,6 ± 0,4	27,8 ± 0,4	28,0 ± 0,2	27,7 ± 0,6	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	4,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1	4,9 ± 0,2	4,9 ± 0,2	-	-
pH	8,37 ± 0,01	8,31 ± 0,01	8,27 ± 0,04	8,26 ± 0,05	<0,001	0,0618
Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	133,0 ± 5,33	143,9 ± 3,7	158,5 ± 9,1	158,82 ± 6,5	<0,001	0,0793
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg L ⁻¹)	361,4 ± 5,1	416,2 ± 17,5	479,5 ± 14,6	473,5 ± 52,2	<0,001	0,0830
Sólidos suspensos voláteis (%)	35,8 ± 13,3	82,0 ± 19,7	104,1 ± 17,8	154,63 ± 16,7	<0,001	0,8324
Amônia Total (N-NAT) (mg L ⁻¹)	0,83 ± 0,13	0,82 ± 0,16	0,73 ± 0,19	0,32 ± 0,15	0,016	0,0320
Nitrito-N (NO_2^- -N) (mg L ⁻¹)	0,74 ± 0,13	0,54 ± 0,05	0,5 ± 0,05	0,42 ± 0,09	0,021	0,0247
Nitrato-N (NO_3^- -N) (mg L ⁻¹)	20,41 ± 1,08	23,15 ± 3,43	29,64 ± 1,27	35,05 ± 1,27	<0,001	0,1816
Ortofósforos-P (PO_4^{3-} -P) (mg L ⁻¹)	1,37 ± 0,25	2,47 ± 0,37	2,79 ± 0,34	2,84 ± 0,15	0,001	0,1007

Dados são média ± desvio padrão.

4.4.2 Fesempenho dos camarões

O aumento da salinidade influenciou significativamente o desempenho dos camarões ao final dos 40 dias de cultivo (Tabela 2). Os camarões *P. vannamei* apresentaram aumento significativo no peso médio final com o aumento da salinidade, atingindo $9,6 \pm 0,3$ g em 20 ppt comparado a $8,5 \pm 0,4$ g em 5 ppt ($p < 0,001$). O ganho em peso semanal também foi superior em maiores salinidades ($p < 0,001$), assim como a biomassa final, que variou de $5636,1 \pm 80,1$ g (5 ppt) a $7071,4 \pm 46,8$ g (20 ppt) ($p < 0,001$). O fator de conversão alimentar (FCA) foi mais eficiente em 20 ppt ($0,96 \pm 0,0$), com diferença significativa entre tratamentos ($p = 0,002$).

Tabela 2: Valores das variáveis de desempenho do crescimento do camarão no cultivo aquapônico em bioflocos integrado com *Tetragonia tetragonioides* por 40 dias. O desempenho está expresso em peso fresco.

Variável	Tratamento				p-value	R ²
	05 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt		
<i>Camarão</i>						
Peso médio inicial (g)	4,07±0,03	4,04±0,05	4,06±0,02	4,09±0,01	-	-
Peso médio final (g)	8,5±0,4	8,9±0,4	9,4±0,4	9,6±0,3	<0.001	0.6362
Sobrevivência (%)	82,8±5,8	88,5±3,6	87,9±6,8	91,4±4,7	0.045	0.2030
Biomassa final (g tanque ⁻¹)	5636,1±80,1	6327,4±40,2	6626,4±146,9	7071,4±46,8	<0.001	0.7205
Ganho em peso semanal (g semana ⁻¹)	0,78±0,1	0,86±0,1	0,94±0,1	0,98±0,1	<0.001	0.6037
Fator de conversão alimentar (FCA)	1,11±0,1	1,02±0,0	1,01±0,1	0,96±0,0	0.002	0.4641
Produtividade (kg m ⁻³)	1,12±0,06	1,26±0,03	1,32±0,11	1,14±0,03	<0.001	0.7308
Consumo de ração (kg tanque ⁻¹)	6216,4±0,0	6461,6±0,0	6677,6±0,0	6796,4±0,0	-	-

Dados são média ± desvio padrão.

4.4.3 Desempenho das plantas

4.4.3.1 Desempenho do crescimento

Para o espinafre *T.tetragonioides*, os melhores resultados foram observados nas salinidades mais baixas e estão dispostos na tabela 3. O peso médio final das plantas foi significativamente maior em 5 ppt ($2,73 \pm 1,58$ g) do que em 20 ppt ($0,48 \pm 0,03$ g) ($p = 0,002$), com tendência semelhante na biomassa final ($p < 0,001$). A sobrevivência vegetal também diminuiu com o aumento da salinidade, de 95% em 5 ppt para 60% em 20 ppt ($p = 0,005$).

Tabela 3: Valores das variáveis de desempenho do crescimento das plantas *Tetragonia tetragonioides* no cultivo aquapônico em bioflocos integrada com *Penaeus vannamei* por 40 dias. O desempenho está expresso em peso fresco.

Variável	Tratamento				p-value	R ²
	05 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt		
<i>Planta</i>						
Peso médio final (g)	2,73±1,58	2,21±1,09	0,99±0,24	0,48±0,03	0.002	0.5221
Sobrevivência (%)	95±0,07	89±0,10	86±0,14	60±0,21	0.005	0.5116
Biomassa final (g tanque ⁻¹)	50,7±27,02	39,23±19,66	17,22±5,73	5,72±1,68	<0.001	0.5815
Produtividade (g m ⁻²)	16,73±8,91	16,29±6,48	5,68±1,89	1,89±0,55	0.004	0.5741

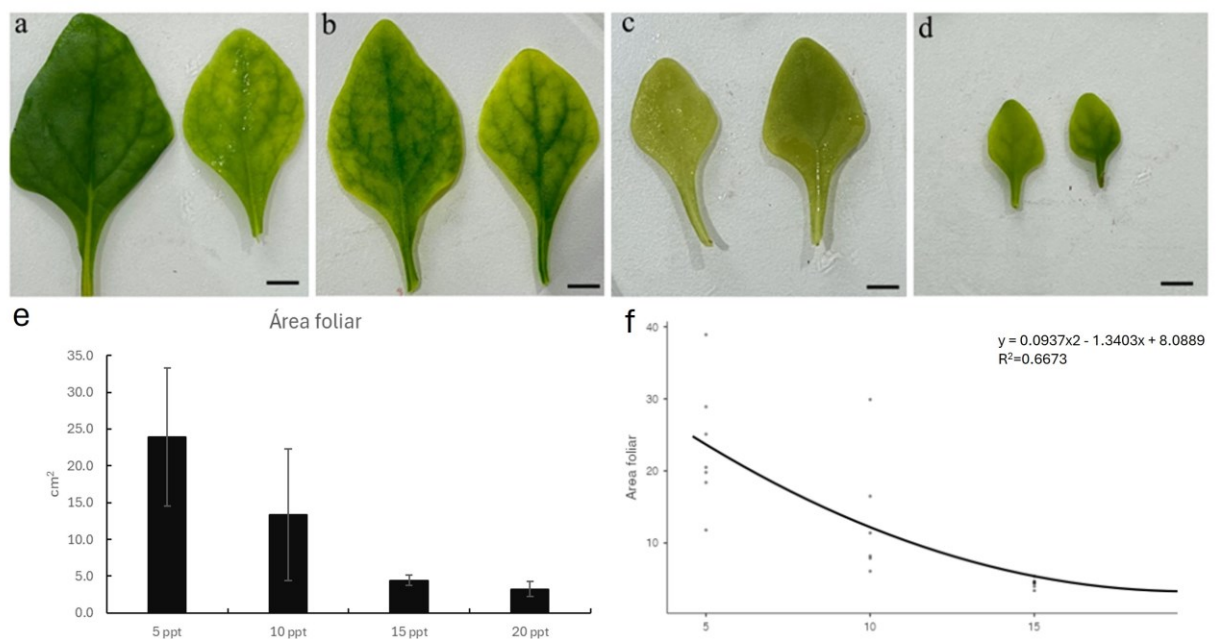
Dados são média ± desvio padrão.

4.4.3.2 Área foliar

As folhas de *T. tetragonioides* cultivadas sob diferentes concentrações de salinidade apresentaram alterações morfológicas visíveis (Fig 1. a–d). As folhas submetidas à salinidade de 5 ppt exibiram coloração verde intensa e uniforme, com morfologia bem desenvolvida e estrutura íntegra. Em 10 ppt, observou-se perda de pigmentação entre as nervuras, especialmente nas margens, com coloração amarelada contrastando com as nervuras ainda verdes. Já nas salinidades de 15 e 20 ppt, as folhas apresentaram coloração heterogênea, com algumas esverdeadas e outras amareladas, além de perda de rigidez e aparência murcha.

A área foliar de *T. tetragonioides* apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Fig. 1e). As maiores médias de área foliar foram observadas nas plantas cultivadas sob salinidades de 5 e 10 ppt, com valores de 23,9 cm² e 13,3 cm², respectivamente. Em contraste, as menores áreas foliares foram registradas nas salinidades de 15 ppt (4,4 cm²) e 20 ppt (3,3 cm²), evidenciando uma redução progressiva da área foliar com o aumento da salinidade. Essa tendência foi confirmada por análise de regressão ($R^2=0,6673$; Fig. 1f), que demonstrou uma relação negativa entre o aumento da salinidade e a área foliar.

Figura 1: Folhas de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades. a) 5 ppt; b) 10 ppt; c) 15 ppt; d) 20 ppt; e) Área foliar e f) Relação entre a salinidade da água (ppt) e a área foliar (cm²): a linha representa a regressão quadrática ($y = 0,0937x^2 - 1,3403x + 8,0889$; $R^2 = 0,6673$; $p < 0,001$). Escala: 1cm.



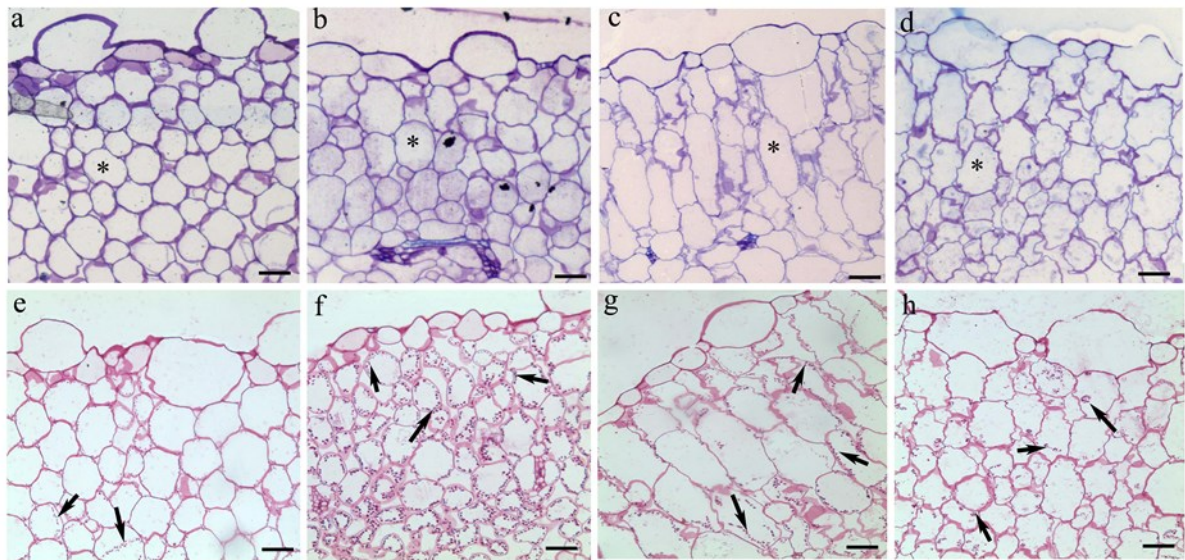
4.4.3.3 Morfologia foliar e variação histológica

Quando analisadas por microscopia de luz e coradas com azul de toluidina (ATO) (Fig. 2 a-d), os cortes transversais das folhas de *T. tetragonioides* apresentaram reação metacromática na parede celular das células da epiderme e do parênquima, indicando a presença de polissacarídeos ácidos. Essa coloração foi mais intensa nas folhas cultivadas sob salinidades de 5 e 10 ppt, sendo menos pronunciada nas folhas expostas às salinidades de 15 e 20 ppt.

Nas amostras coradas com PAS (Fig. 2 e-h), todas as células apresentaram reação positiva e uniforme nas paredes celulares em todos os tratamentos, indicando a presença de polissacarídeos neutros, como a celulose. Na região interna das células, foram observadas granulações (setas) que reagiram positivamente ao PAS, sugerindo a presença de grãos de amido. A maior quantidade dessas granulações foi observada nas células das folhas cultivadas sob 10 ppt. Nas salinidades de 15 e 20 ppt, também foram observadas granulações PAS-positivas em todas as células. Já nas folhas cultivadas sob 5 ppt, as granulações foram escassas ou ausentes.

Diferenças no tamanho celular também foram observadas entre os tratamentos. Folhas cultivadas sob salinidades de 5 ppt (Fig. 2 a,e) e 10 ppt (Fig. 2 b,f) apresentaram células do parênquima grandes e bem desenvolvidas. A partir de 15 ppt (Fig. 2 c,g) e 20 ppt (Fig. 2 d,h), as células se mostram visivelmente menores, com formato mais irregular e menor espaço intercelular.

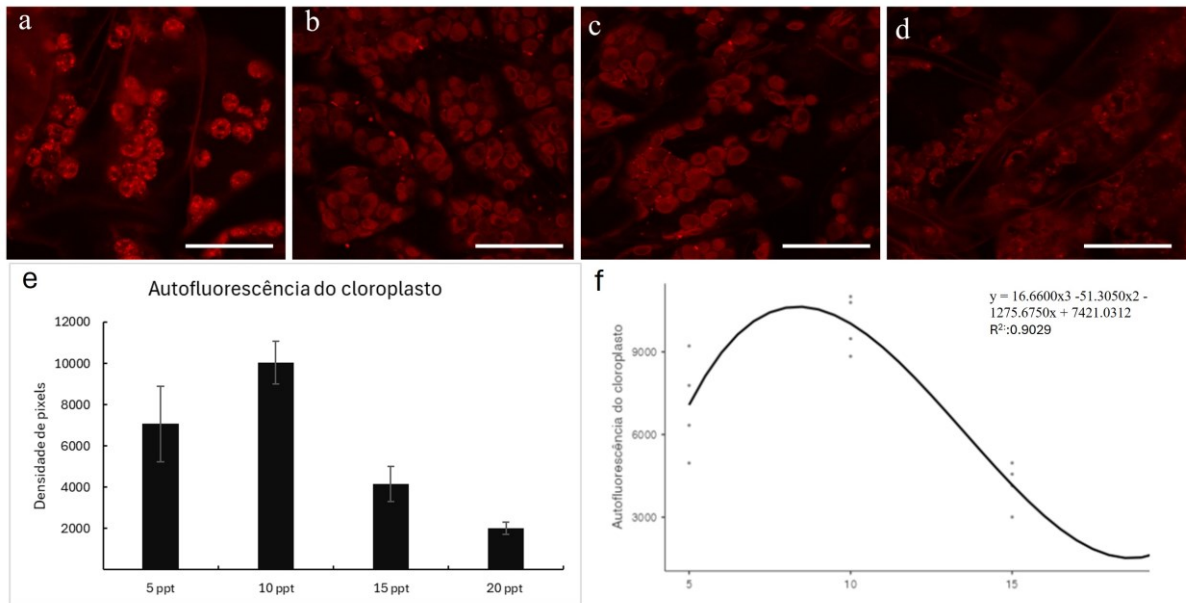
Figura 2: Micrografias de cortes transversais da folha *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades e coradas com azul de toluidina (a–d) e ácido periódico de Schiff (PAS) (e–h). As imagens correspondem às salinidades de 5 ppt (a, e), 10 ppt (b, f), 15 ppt (c, g) e 20 ppt (d, h). Com ATO, observa-se reação metacromática nas paredes celulares das células epidérmicas e do parênquima (asterisco), mais intensa nas folhas cultivadas sob 5 e 10 ppt. Com PAS, todas as células apresentaram coloração uniforme na parede celular, indicando presença de polissacarídeos básicos. Grãos de amido são indicados por setas, com maior quantidade observada nas folhas cultivadas sob 10 ppt. Além disso, verifica-se redução progressiva no tamanho celular com o aumento da salinidade, sendo as células maiores e mais espaçadas nas folhas de 5 e 10 ppt, e menores e mais compactas nas folhas de 15 e 20 ppt. Barras de escala: 10 μ m.



4.4.3.4 Autofluorescência dos Cloroplastos

A autofluorescência dos cloroplastos em folhas de *T. tetragonioides* cultivadas sob diferentes salinidades também apresentou alterações, conforme evidenciado pelas imagens obtidas por microscopia confocal (Fig. 3 a–d). Nas salinidades de 5 e 10 ppt, observa-se intensa emissão autofluorescente, com elevada densidade de cloroplastos distribuídos pelas células. Em contrapartida, nas salinidades de 15 e 20 ppt, a intensidade da fluorescência é visivelmente reduzida. A quantificação da autofluorescência, expressa pela densidade de pixels (Fig. 3e), revelou diferenças estatísticas, com maiores valores médios registrados nas salinidades de 5 e 10 ppt, e menores valores nas salinidades de 15 e 20 ppt. A regressão polinomial ajustada (Fig. 3f) descreve a relação entre salinidade e autofluorescência dos cloroplastos, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9029$, evidenciando um aumento da fluorescência em salinidades mais baixas, seguida de redução com o aumento da salinidade.

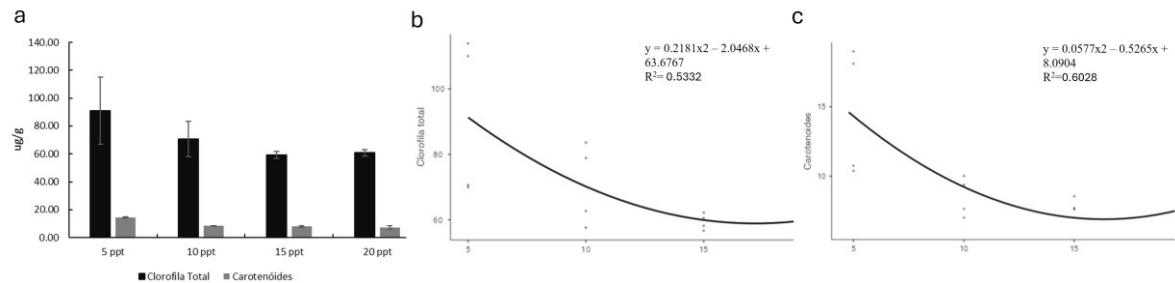
Figura 3: Autofluorescência dos cloroplastos da folha de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico com camarão (*Penaeus vannamei*), em bioflocos submetido a diferentes salinidades. (a–d) Imagens obtidas por Microscopia Confocal evidenciam a emissão autofluorescente dos cloroplastos (vermelho), sendo mais intensa nas folhas cultivadas nas salinidades de 5 (a) e 10 ppt (b), com redução progressiva nas salinidades de 15 (c) e 20 ppt (d). (e) Quantificação da autofluorescência por densidade de pixels, com valores médios e desvio padrão (n = 4), (f) Regressão cúbica ajustada entre salinidade e densidade de autofluorescência dos cloroplastos ($R^2 = 0,9029$), indicando tendência de aumento da fluorescência até 10 ppt, seguida de redução em salinidades mais elevadas. Escala: 10 μm .



4.4.3.5 Clorofila Total e Carotenoides

Os teores de clorofila total e carotenoides em folhas de *T. tetragonioides* cultivadas sob diferentes salinidades apresentaram variações que acompanharam o aumento da salinidade (Figura 4). Para a clorofila total, observou-se uma tendência de redução dos teores, com os maiores valores registrados a 5 ppt (90 $\mu\text{g/g}$) e os menores a 15 e 20 ppt (60 $\mu\text{g/g}$). A análise de regressão polinomial indicou um ajuste significativo ao modelo quadrático, com a equação $y = 0,2181x^2 - 2,0468x + 63,6767$, $R^2 = 0,5332$ e $p = 0,007$. Para os carotenoides, os teores se mantiveram baixos em todos os tratamentos, com variações discretas, mas a regressão polinomial também foi significativa ($y = 0,0577x^2 - 0,5265x + 8,0904$, $R^2 = 0,6028$, $p = 0,006$), sugerindo um padrão de resposta sensível à salinidade, mesmo com baixa amplitude de variação.

Figura 4: Teores de clorofila total e carotenoides ($\mu\text{g/g}$ de massa fresca) em folhas de *Tetragonia tetragonioides* cultivadas por 40 dias em sistema aquapônico em bioflocos e camarão (*Penaeus vannamei*) sob diferentes salinidades. (a) Médias e desvios padrão dos teores de clorofila total e carotenoides. (b) Relação entre a salinidade e o teor de clorofila total ajustada por regressão quadrática ($R^2 = 0,5332$). (c) Relação entre a salinidade e o teor de carotenoides ajustada por regressão quadrática ($R^2 = 0,6028$).



4.4.2.6 Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante

Os resultados dos teores de compostos fenólicos e da atividade antioxidantes (Tabela 4) diferiram significativamente entre os tratamentos, refletindo o impacto da salinidade sobre as propriedades bioquímicas da planta. Nos compostos fenólicos, observou-se uma redução linear com o aumento da salinidade ($p=0,005$; $R^2 = 0,1392$), sugerindo que com a elevação da salinidade a produção desses metabólitos secundários podem ser suprimidos.

Apesar de haver diminuição dos compostos fenólicos com o aumento da salinidade, a capacidade antioxidante aumentou significativamente, tanto na equivalência ao ácido ascórbico (AAEAC) quanto ao Trolox (TEAC). Isso pode indicar que outras classes de compostos antioxidantes foram induzidas em resposta ao estresse salino, como flavonoides, alcaloides ou carotenoides, compensando a redução dos fenólicos totais.

Tabela 4: Valores dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante da planta *Tetragonia tetragonioides* cultivada em aquaponia com *Penaeus vannamei* em BFT por 40 dias.

Variável	Tratamento				p-value	R ²
	05 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt		
Capacidade Antioxidante ($\mu\text{mol AAEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$)	1637,5 \pm 451,4	1645 \pm 409,1	1895,5 \pm 1008,1	2105,6 \pm 555,4	0,033	0.0955
Capacidade Antioxidante ($\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$)	1690,1 \pm 466,6	1697,4 \pm 423,3	1954,8 \pm 1037,5	2165,7 \pm 573,2	0,035	0.0934
Compostos fenólicos totais (mg GAE $100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$)	246,8 \pm 79,9	237,8 \pm 132,7	203,5 \pm 28,7	156,3 \pm 88,3	0,005	0.1576

4.5 DISCUSSÃO

4.5.1 Qualidade de água

Os parâmetros físico-químicos da água mantiveram-se dentro de faixas adequadas ao cultivo de *P. vannamei*. A amônia total permaneceu inferior a 1 mg L⁻¹ em todos os tratamentos, valor considerado seguro para a espécie (Lin & Chen, 2001). Da mesma forma, os níveis de nitrito variaram entre 0,42 e 0,74 mg L⁻¹, também abaixo do limite tóxico (Lin & Chen, 2003).

A concentração de nitrato aumentou com a salinidade, atingindo no máximo 35,05 mg L⁻¹ em 20 ppt, mas ainda abaixo do valor crítico de 177 mg L⁻¹ proposto por Furtado et al. (2015). O aumento dos sólidos suspensos totais (SST), que se manteve entre 479,5 e 361,4 mg L⁻¹ e voláteis (SSV), 154,6 e 35,8% com o aumento da salinidade, especialmente em 15 e 20 ppt, indica maior produção de bioflocos, como também observado por RAY et al. (2010) e AVNIMELECH (2012), porém não ultrapassaram os níveis recomendados por Gaona et al., 2011 e Schweitzer et al., 2013 que recomendam manter os SST abaixo de 600 mg L⁻¹.

A alcalinidade foi crescente com a salinidade, variando entre 133 e 158 mg CaCO₃ L⁻¹, valores que auxiliam na manutenção do pH e do equilíbrio nitrogenado em sistemas BFT (Emerenciano et al., 2017).

4.5.2 Desempenho dos camarões

O camarão *P.vannamei* é uma espécie eurialina, ou seja, possui ampla tolerância à variação de salinidade, podendo sobreviver em ambientes que variam de água doce até salinidades elevadas. De acordo com Pillay (1990), essa espécie suporta salinidades de 0 a 50 ppt. Observou-se, no presente estudo, que o desempenho zootécnico dos camarões foi significativamente influenciado pela salinidade. Os animais cultivados nas salinidades de 15 e 20 ppt apresentaram os melhores resultados de crescimento, com peso final médio de 9,4 ± 0,4 g e 9,6 ± 0,3 g, respectivamente ($p < 0,001$), além dos maiores ganhos médios de peso semanal (0,94 e 0,98 g semana⁻¹). Isso indica que faixas salinas intermediárias favorecem o desempenho da espécie, como já reportado por Vinatea (1997), indicando que, para fins de cultivo, a faixa considerada ideal está entre 15 e 25 ppt.

A menor taxa de sobrevivência nos tratamentos com salinidade reduzida pode estar relacionada à inadequação da composição iônica da água. Uma vez que os cultivos foram

iniciados com inóculo de bioflocos oriundo de salinidade 33 ppt, os tratamentos diluídos apresentaram relações iônicas, como $\text{Na}^+:\text{K}^+$, inferiores às ideais para a espécie (Tabela 5). Embora *P. vannamei* tolere variações salinas, o desequilíbrio desses íons compromete sua osmorregulação e, conseqüentemente, sua viabilidade, como apontado por Boyd e Thunjai (2003) e Valenzuela-Madrigal *et al.* (2017).

Tabela 5: Concentração e proporção dos principais íons da água do mar e água nos tanques de *Penaeus vannamei* no sistema aquapônico com diferentes salinidades.

Íons	Tratamento				Água do mar
	05 ppt	10 ppt	15 ppt	20 ppt	
K ⁺ (mg L ⁻¹)	228,8±2,37	378,5±9,2	510,3±10	723,7±19,8	1103,3±43,8
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	1949,5±23,2	2897,9±25,6	5213,0±60	7111,1±73,8	11431,2±293,4
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	199,1±2,56	295,9±5,4	470,2±5,8	626,4±10,8	957,2±215,1
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	250,6±2,7	372,9±1,27	650,5±10,6	877,4±7,69	1365,9±50
Na:K	8,52:1	7,63:1	10,2:1	9,82:1	10,3:1
Ca:K	0,87:1	0,78:1	0,92:1	0,86:1	0,86:1
Mg:Ca	1,25:1	1,26:1	1,38:1	1,4:1	1,42:1
Mg:K	1,09:1	0,98:1	1,27:1	1,21:1	1,23:1

4.5.3 Desempenho das plantas

Os resultados obtidos demonstram que *T. Tetragonioides* responde de forma negativa e progressiva ao aumento da salinidade, com desempenho significativamente superior em salinidades mais baixas. Em contraste com o comportamento do camarão, que geralmente tolera e até se beneficia de salinidades moderadas, a halófito mostrou melhor desempenho em 5 ppt, com maior peso final, maior produção de biomassa total e alta taxa de sobrevivência. A salinidade de 10 ppt também resultou em valores satisfatórios para esses parâmetros, sugerindo uma faixa de tolerância até esse nível. No entanto, acima de 15 ppt, observou-se uma queda acentuada no crescimento e na sobrevivência das plantas, com a biomassa média por tanque reduzida de 50,7 g (5 ppt) para apenas 5,7 g em 20 ppt, e a sobrevivência diminuída para 60%

Apesar de ser considerada uma planta halófito, *T. Tetragonioides* demonstra crescimento favorecido por salinidades baixas a moderadas (100 mM de NaCl, aproximadamente 6 ppt), como já reportado por Comparini *et al.* (2024), AHMED and JOHNSON (2020) e Lin *et al.*, (2012) e sobrevive a concentrações salinas superiores a 340 mM de NaCl (aproximadamente 20 ppt) (Flowers *et al.*, 1977; Ajmal Khan, 1999), sugerindo que seu metabolismo e capacidade fotossintética são afetados negativamente por salinidades

elevadas. A salinidade compromete a capacidade das plantas de absorver água, provocando uma rápida redução na taxa de crescimento e desencadeando alterações metabólicas semelhantes às observadas em condições de estresse hídrico. Esses efeitos estão associados ao acúmulo de sais nos tecidos, que provoca estresse osmótico, dificulta a absorção de nutrientes essenciais e interfere na atividade enzimática relacionada à síntese de pigmentos e ao metabolismo fotossintético, levando à diminuição da biomassa vegetal (MUNNS, 2002).

A salinidade afetou significativamente a morfologia de *T. Tetragonioides*, com redução expressiva da área foliar nas maiores concentrações. As plantas cultivadas em 5 e 10 ppt apresentaram maior área foliar, enquanto nas salinidades de 15 e 20 ppt foram observados murchamento e queda acentuada da área foliar.

Esses resultados estão parcialmente em consonância com o estudo de Sogoni et al. (2025), que observou aumento no crescimento de *Tetragonia decumbens* em concentrações de 200 mM (aproximadamente 12 ppt) e 250 mM (15 ppt), sem sinais evidentes de toxicidade, como clorose ou necrose foliar. No entanto, no presente estudo, a exposição a 15 ppt provocou alterações negativas em praticamente todos os parâmetros analisados, indicando *T. Tetragonioides* apresenta limitação funcional sob salinidades mais elevadas.

Halófitas sob estresse salino geralmente apresentam um padrão fisiológico e morfológico característico, marcado pela limitação da expansão celular, redução do crescimento e aumento da suculência dos tecidos da parte aérea (GREENWAY & MUNNS, 1980; SOGONI et al., 2025). Esses mecanismos adaptativos contribuem para a tolerância ao sal, permitindo a diluição dos íons acumulados e atenuando seus efeitos tóxicos. Embora a suculência seja uma estratégia comum entre halófitas para diluir o excesso de NaCl nos tecidos foliares (KRAMER, 1984), também é frequente a redução do conteúdo hídrico das folhas sob salinidades elevadas. Esse processo resulta na concentração de NaCl na seiva celular, diminuindo a necessidade de absorção adicional de sais para o ajuste osmótico (GLENN & O'LEARY, 1984; GLENN, 1987). A redução da área foliar observada nessas condições reflete essa adaptação, mas também sugere uma limitação funcional, indicando menor potencial fotossintético e produtivo em ambientes com alta salinidade.

Esse padrão também foi observado no nosso estudo, através da microscopia de luz, com redução do tamanho celular e a compactação do parênquima sob 15 e 20 ppt. As plantas expostas ao estresse salino prolongado apresentam perda de turgescência, menor expansão celular e reorganização anatômica, conforme discutido por Munns e Tester (2008). Esses

autores destacam que o colapso da estrutura celular está associado à limitação na absorção de água, acúmulo de íons tóxicos e alterações no metabolismo osmoprotetor.

Os resultados obtidos com coloração histoquímica indicam que folhas de *T. Tetragonioides* cultivadas sob salinidades moderadas (5 e 10 ppt) mantêm maior integridade estrutural e funcional, com maior deposição de polissacarídeos ácidos na parede celular e acúmulo de amido. Essa resposta pode estar associada à manutenção da elasticidade e rigidez da parede celular, características essenciais para a estabilidade morfofisiológica em ambientes salinos, como destacado por Liu *et al.* (2022), que relataram maior resistência da parede celular à deformação em *Suaeda salsa*, uma halófito com elevada tolerância ao sal.

Em relação aos grãos de amido a sua redução foi observada sob 5 ppt e seu acúmulo máximo em 10 ppt, o que pode indicar um ponto ótimo de salinidade para o metabolismo fotossintético e acúmulo de reservas, padrão também observado por Parida e Das (2005) em *Bruguiera parviflora*, cujas folhas acumularam mais amido sob salinidade intermediária.

Outro componente avaliado foram os pigmentos fotossintéticos, que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, com tendência de redução da clorofila total à medida que a salinidade aumentou. A redução dos teores de pigmentos observada nas salinidades de 15 e 20 ppt pode estar relacionada ao aumento da oxidação e degradação da clorofila, processos desencadeados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS). Esse declínio tende a ser proporcional ao aumento da salinidade do meio, refletindo a intensidade do estresse imposto às plantas (TAÏBI *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2013; SOGONI *et al.*, 2025). Padrões semelhantes de redução no conteúdo de clorofila foram relatados em halófitas como *Nitraria schoberi* e *Lobularia 38aritima* (ZILAIE *et al.*, 2022; HSOUNA *et al.*, 2020). Além disso, o excesso de sal favorece a formação de ROS nos cloroplastos, promovendo a quebra de ligações duplas em ácidos graxos insaturados, o que compromete a integridade das membranas do cloroplasto e pode resultar no vazamento de clorofila dos tilacóides (AZEEM *et al.*, 2023). Esses achados são consistentes com os dados de autofluorescência obtidos neste estudo, os quais demonstraram redução significativa da intensidade da fluorescência dos cloroplastos sob salinidades elevadas, sugerindo comprometimento na integridade estrutural ou na funcionalidade dessas organelas frente ao estresse salino.

Os carotenoides também apresentaram redução conforme o aumento da salinidade, seguindo o mesmo padrão observado para a clorofila. Embora normalmente se registre um aumento na concentração desses pigmentos sob condições de estresse, devido à sua atuação

como antioxidantes na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (APLE & HIRT, 2004; KOTTUPARAMBIL et al., 2012), no presente estudo o estresse salino induzido por NaCl resultou em sua diminuição. Os carotenoides são pigmentos acessórios que contribuem tanto para a eficiência fotossintética quanto para a fotoproteção (QUINLAN et al., 2012). A elevação nos teores desses pigmentos em resposta ao estresse já foi documentada em diversas plantas e algas (POLO et al., 2014; SIMIONI et al., 2014; SHEN et al., 2017). No entanto, outros estudos também relatam reduções nos níveis de carotenoides sob estresse salino, especialmente em tratamentos com NaCl (KAYA, HIGGS & KIRNAK, 2001; RATNAKAR & RAI, 2013), o que sugere que essa resposta pode variar conforme a intensidade do estresse, a espécie vegetal e o tempo de exposição.

Além dos carotenoides, compostos fenólicos e outros antioxidantes também desempenham um papel fundamental na resposta das plantas ao estresse. Esses metabólitos secundários atuam como elementos-chave na proteção contra fatores abióticos, como salinidade, temperatura, déficit hídrico e radiação UV, bem como contra fatores bióticos, como a presença de patógenos (NAIKOO et al., 2019; KUMAR et al., 2020). A produção desses compostos está intimamente relacionada ao estresse oxidativo, funcionando como mecanismo de defesa para neutralizar espécies reativas de oxigênio (ROS) geradas em condições adversas (BERTIN et al., 2014; KSOURI et al., 2008).

Em nosso estudo, os teores de compostos fenólicos apresentaram redução com o aumento da salinidade, sugerindo que a elevação da concentração de sal pode suprimir a produção desses metabólitos. No entanto, apesar dessa diminuição, observou-se um aumento significativo na capacidade antioxidante. Esse resultado indica que outras classes de compostos antioxidantes, como flavonoides, alcaloides, taninos, terpenoides e glutathione, podem ter sido induzidas em resposta ao estresse salino, compensando a redução dos fenólicos totais e contribuindo para a manutenção da atividade antioxidante da planta.

T. tetragonioides apresenta elevado potencial antioxidante, sendo os estudos existentes demonstrando sua capacidade de neutralizar radicais livres em diferentes sistemas de extração, análise e em condições controladas de cultivo *in vitro* (LEE et al., 2008; Choi et al., 2006; LEE et al., 2024). No entanto, devido à escassez de estudos envolvendo *T. Tetragonioides*, especialmente em sistemas aquapônicos em bioflocos, as comparações com a literatura são limitadas. Sendo assim, esse estudo fornece valores de referência importantes para futuras pesquisas com a espécie.

4.6 CONCLUSÃO

Em cultivo integrado de *P. vannamei* com *T. tetragonoides* do presente estudo, a salinidade afetou distintamente o desempenho do camarão e da planta. O camarão apresentou melhor crescimento nas salinidades de 15 e 20 ppt, enquanto a planta teve maior produção de biomassa, pigmentos fotossintéticos e área foliar em 5 ppt.

Análise dos parâmetros da água confirmou condições adequadas ao cultivo, e os dados morfológicos, fisiológicos e histológicos da planta indicaram que salinidades mais elevadas induzem estresse, limitando o crescimento e a integridade celular de *T. tetragonoides*.

Não foi possível identificar uma salinidade ótima comum para ambos os organismos. No entanto, salinidades intermediárias, como 10 e 15 ppt, podem representar um ponto de equilíbrio entre a produtividade vegetal e animal, com potencial para sistemas integrados.

4.7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Claudia Machado pela inestimável ajuda na execução do experimento.

4.8 FINANCIAMENTO

O presente estudo foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil, Código de Financiamento 001). Adicionalmente, houve financiamento para Walter Quadros Seiffert pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil, 303684/2021-6) e para Felipe do Nascimento Vieira (CNPq, Brasil, 310250/2020-0) e do projeto universal: Aquicultura Multitrófica Integrada com tecnologia de bioflocos: diversificando a produção e incrementando a sustentabilidade (CNPq 403469/2023-6).

REFERÊNCIAS

AOAC, Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg. 2005

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

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Stand. Methods. 2012 ISBN: 9780875532356

ATZORI, G.; NISSIM, W. G.; MACCHIAVELLI, T.; VITA, F.; AZZARELLO, E.; PANDOLFI, C.; MASI, E.; MANCUSO, S. *Tetragonia tetragonioides* (Pallas) Kuntz. as promising salt-tolerant crop in a saline agriculture context. **Agricultural Water Management**, v. 240, 2020. Article 106261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106261>.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc technology – A practical guide book**. 3. ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2015.

Avnimelech, Yoram. (2012). Biofloc Technology – A Practical Guide Book.

Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., Yang, S., Dong, R., Ali, B., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. **Scientific Reports**, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6>

BARBIERI JÚNIOR, R. C. J.; OSTRENSKY NETO, A. **Camarões marinhos: engorda**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

BERTIN, R. L. et al. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 55, p. 404–411, 2014.

BERTIN, R. L. et al. Prospecção para exploração da erva de sal (*Sarcocornia ambigua*-Amaranthaceae): análise histológica, caracterização química, valor nutricional e potencial antioxidante. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

BERTIN, R. L.; Gonzaga, L. V.; Borges, G. D. S. C.; Azevedo, M. S., Maltez, H. F.; Heller, M., ... & Fett, R. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 55, p. 404–411, 2014.

BOYD, C. E. **Water quality management and aeration in shrimp farming- Fisheries and Allied Aquaculture Departmental Series**. Auburn: Auburn University, 1989.

BOYD, C. E.; THUNJAI, T. Concentrations of Major Ions in Waters of Inland Shrimp Farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 34, n. 4, p. 524–532, 2003.

BRAND-WILLIAMS, Wendy; CUVELIER, Marie-Elisabeth; BERSET, CLWT Uso de um método de radical livre para avaliar a atividade antioxidante. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, pág. 25-30, 1995.

CHAMORRO LEGARDA, E.; Viana, M. T.; Zaragoza, O. B. D. R.; Skrzynska, A. K.; Braga, A.; de Lorenzo, M. A. & do Nascimento Vieira, F. Effects on fatty acids profile of *Seriola dorsalis* muscle tissue fed diets supplemented with different levels of *Ulva fasciata* from an Integration Multi-Trophic Aquaculture system. **Aquaculture**, v. 535, p. 736414, 2021.

CHOI, HS, CHO, JY, KIM, SJ *et al.* New lignan tyramide, phenolics, megastigmanes, and their glucosides from aerial parts of New Zealand spinach, *Tetragonia tetragonoides*. **Food Sci Biotechnol** 29, 599–608 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00700-x>

COMPARINI, D.; MOZZO, G.; THIERS, L.; VANDERBORGHT, J.; DE SWAEF, T.; MANCUSO, S.; GARRÉ, S.; ATZORI, G. Exploring tolerance mechanisms and root morphological development of New Zealand spinach and quinoa across salinity levels. **South African Journal of Botany**, v. 171, p. 10–20, 2024. DOI: 10.1016/j.sajb.2024.05.050

DONCATO, KB, COSTA, CSB Evaluation of nitrogen and phosphorus nutritional needs of halophytes for saline aquaponics. **Hortico. Meio Ambiente. Biotecnologia**. 64 , 355–370 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00479-7>

DUNBAR, M. B. et al. **Defining Integrated Multi-Trophic Aquaculture: a consensus**, 2020. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/349413305>>.

EMERENCIANO, M. G. C. et al. Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In: **Water Quality**. [s.l.] InTech, 2017.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

Flowers TJ, Troke PF, Yeo AR. 1977. **The mechanism of salt tolerance in halophytes**. Annual Review of Plant Physiology 28: 89–121.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 945–963, 2008.

FURTADO, P. S. et al. Effects of nitrate toxicity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared with biofloc technology (BFT). **Aquaculture International**, v. 23, n. 1, p. 315–327, 1 fev. 2015.

GARGOURI, M. et al. Cytoprotective and antioxidant effects of the edible halophyte *Sarcocornia perennis* L. (swampfire) against lead-induced toxicity in renal cells. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 95, p. 44-51, 2013.

GLENN, E. P. Relationship between growth, salt accumulation, and water content of a succulent halophyte (*Salicornia bigelovii* Torr.). **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 205–212, 1987. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1987.tb00803.x.

GLENN, E. P.; O'LEARY, J. W. Relationship between salt accumulation and water content of dicotyledonous halophytes. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 253–261, 1984. DOI: 10.1111/1365-3040.ep11589560.

GODDEK, S. et al. **Aquaponics Food Production Systems Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**, 2019.

GREENWAY, H.; MUNNS, Rana. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 149-190, 1980.

GUNNING, D. Cultivating *Salicornia europaea* (marsh samphire). **Dublin, Ireland: Irish Sea Fisheries Board**, v. 4, p. 1-95, 2016.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; BHOWMIK, P. C.; HOSSAIN, M. A.; RAHMAN, M. M.; PRASAD, M. N. V.; OZTURK, M.; FUJITA, M. Potential use of halophytes to remediate saline soils. **BioMed Research International**, v. 2014, p. 1–12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/589341>.

HSOUNA, A. B., GHNEIM-HERRERA, T., ROMDHANE, W. B., DABBOUS, A., SAAD, R. B., BRINI, F., ABDELLEY, C., HAMED, K. B., HSOUNA, A. B., GHNEIM-HERRERA, T., ROMDHANE, W. B., DABBOUS, A., SAAD, R. B., BRINI, F., ABDELLEY, C., & HAMED, K. B. (2020). Early effects of salt stress on the physiological and oxidative status of the halophyte *Lobularia maritima*. **Functional Plant Biology**, 47(10), 912–924. <https://doi.org/10.1071/FP19303>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KATO, M.; TAKEDA, T.; OGIHARA, Y.; SHIMU, M.; NOMURA, T.; TOMITA, Y. Studies on the structure of polysaccharide from *Tetragonia tetragonioides*. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v. 33, p. 3675–3680, 1985.

KAYA, C.; HIGGS, D.; KIRNAK, H. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. **Bulg. J. plant physiol**, v. 27, p. 47-59, 2001.

KHAN, M. A.; DUKE, N. C. **Halophytes-A resource for the future Wetlands Ecology and Management**, 2001.

KHANJANI, M. H.; ZAHEDI, S.; MOHAMMADI, A. Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). **Environmental Science and Pollution Research**. v. 29, 2022.

KOTTUPARAMBIL, S. UV-B affects photosynthesis, ROS production and motility in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 112, p. 1–8, 2012. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2012.04.003.

KRAMER, P. J. *Physiology of plants under stress: abiotic factors*. **New York: Wiley-Interscience**, 1984.

KSOURI R, KSOURI WM, JALLALI I, DEBEZ A, MAGNÉ C, HIROKO I, ABDELLEY C. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical,

nutraceutical and food applications. *Crit Rev Biotechnol*. 2012 Dec;32(4):289-326. doi: 10.3109/07388551.2011.630647. Epub 2011 Nov 30. PMID: 22129270

KSOURI, R. et al. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biologies*, v. 331, n. 11, p. 865–873, 2008.

KUMAR, V. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and their potential ecological risk: A review. *Science of the Total Environment*, v. 646, p. 1248–1263, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.357.

LEE, K.Y.; NAM, D.-H.; JEON, Y.; PARK, S.U.; CHO, J.; GULANDAZ, M.A.; CHUNG, S.-O.; LEE, G.-J. Exploring the Production of Secondary Metabolites from a Halophyte *Tetragonia tetragonoides* through Callus Culture. *Horticulturae* 2024, 10, 244. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030244>.

LEGARDA, E. C. et al. Sea lettuce integrated with Pacific white shrimp and mullet cultivation in biofloc impact system performance and the sea lettuce nutritional composition. *Aquaculture*. v. 534, 2021.

LIN H.E., WANG W., LIN G. Effects of salinity on the growth and photosynthetic characteristics of a coastal wetland plant species *Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze. *Chinese Journal of Ecology*. 2012, 31(12):3044–3049.

LIN, Yong-Chin; CHEN, Jiann-Chu. **Acute toxicity of ammonia on *LitoPenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, [S.l.], v. 259, n. 1, p. 109–119, 2001. ISSN 0022-0981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00227-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00227-1)

Liu, J., Shao, Y., Feng, X., Otie, V., Matsuura, A., Irshad, M., Zheng, Y., & An, P. (2022). Cell Wall Components and Extensibility Regulate Root Growth in *Suaeda salsa* and *Spinacia oleracea* under Salinity. *Plants*, 11(7), 900. <https://doi.org/10.3390/plants11070900>

MENDES, L. G. et al. **Avaliação econômica da produção comercial entre a erva-sal *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Penaeus vannamei* em um sistema aquapônico com bioflocos.** [s.l.: 2018.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/329265033>>.

MORAIS, A. P. M. et al. Integrated multitrophic aquaculture system applied to shrimp, tilapia, and seaweed (*Ulva ohnoi*) using biofloc technology. *Aquaculture*. v. 572, 2023.

MUNNS, R. & M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651-681

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, v. 25, p. 239-250, 2002.

NAIKOO, M. I. Biotransfer, bioaccumulation and detoxification of nickel (Ni) along the soil–faba bean–aphid–ladybird food chain. *Science of the Total Environment*, v. 786, p. 147437, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147437.

Navarro, D.J., Foxcroft, D.R., 2018. **Learning statistics with jamovi: a tutorial for psychology students and other beginners**. Danielle J. Navarro and David R. Foxcroft. <https://doi.org/10.24384/HGC3-7P15>

NEORI, A., CHOPIN, T., TROELL, M., BUSCHMANN, A. H., KRAEMER, G. P., HALLING, C., SHPIGEL, M. & YARISH, C. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. **Aquaculture**, 231, 361-391. 2004.

NEVES, M. A.; MIGUEL, M. G.; MARQUES, C.; PANAGOPOULOS, T.; BELTRAO, J. The combined effects of salts and calcium on growth and mineral accumulation of *Tetragonia tetragonioides* — a salt removing species. **WSEAS Transactions on Environment and Development**, v. 4, n. 1, p. 1–5, 2008.

O'LEARY, James W. High productivity from halophytic crops using highly saline irrigation water. 1984.

PARIDA, A. and DAS, A.B. (2005) Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: A Review Original Research Article. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 60, 324-349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>

PILLAY, T. V. R. **Aquaculture: principles and practices**. Oxford: Fishing News Books, 1990. 575 p.

PINHEIRO, I. et al. Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. **Aquaculture**, v. 519, 30 mar. 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, 1 mar. 2017.

POLO, L. K.; et al. Photoacclimation responses of the brown macroalga *Sargassum Cymosum* to the combined influence of UV radiation and salinity: cytochemical and ultrastructural organization and photosynthetic performance. **J. Photochem. Photobiol.**, v. 90, p. 560–573, 2014.

QUINLAN, R. F.; et al. Synergistic interactions between carotene ring hydroxylases drive lutein formation in plant carotenoid biosynthesis. **Plant Physiol.**, v. 160, p. 204–214, 2012.

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, 1 fev. 2015.

RAKOCY, J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. In: TIDWELL, J. H. (Ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2012. p. 344–386.

RAKOCY, J. E.; MASSER, Michael; LOSORDO, Thomas. *Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics – Integrating fish and plant culture*. SRAC Publication, n. 454, 2006.

RATNAKAR, A.; RAI, A. Alleviation of the Effects of NaCl Salinity in Spinach (*Spinacia oleracea* L. var. All Green) Using Plant Growth Regulators. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 9, p. 122-128, 2013.

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

SHEN, J.; et al. Effect of increased UV-B radiation on carotenoid accumulation and total antioxidant capacity in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. **Genet. Mol. Res.**, v. 16, p. 1–11, 2017.

SIMIONI, C.; et al. Effects of ultraviolet radiation (UVA+UVB) on young gametophytes of *Gelidium floridanum*: growth rate, photosynthetic pigments, carotenoids, photosynthetic performance, and ultrastructure. **Photochem. Photobiol.**, v. 90, p. 1050–1060, 2014.

SOGONI, A.; JIMOH, M. O.; BARKER, A. M.; KEYSTER, M.; KAMBIZI, L.; LAUBSCHER, C. P. *Salinity modulates morpho-physiology, biochemical and antioxidant defence system in Tetragonia decumbens* Mill.: A neglected wild leafy vegetable in South Africa. **Plant Physiology Reports**, 2024, p. 1–14.

STRICKLAND, J.D.H., Parsons, T.R. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. A 1156 Pract. Handb. seawater Anal. 167, 185. 1972. <https://doi.org/10.1002/iroh.19700550118>.

TAÏBI, K., TAÏBI, F., AIT ABDERRAHIM, L., ENNAJAH, A., BELKHODJA, M., & MULET, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, 105, 306-312.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**. 2. ed. Cayuga AquaVentures, 2010.

VALENZUELA-MADRIGAL, I. E. et al. Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low-salinity well water. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 52, n. 1, p. 103–112, 2017.

VAN WYK, P. Receiving and Acclimation of Postlarvae. In: WYK, P. VAN et al. (Eds.). **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Tallahassee: Harbor Branch Oceanographic Institution, 1999a. p. 115–124.

VAN WYK, Peter. Nutrition and feeding of *Penaeus vannamei* in intensive culture systems. **Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems**, v. 220, 1999.

VERNON', D. M.; BOHNERT', H. J. **A novel methyl transferase induced by osmotic stress in the facultative halophyte Mesembryanthemum crystallinum** *The EMBO Journal*, 1992.

VINATEA, L. A. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 1ed. Florianópolis: UFSC, 1997.

WANG, H.M., WANG, W.J., WANG, H.Z., WANG, Y., XU, H.N., & ZU, Y.G. (2013). Effect of inland salt-alkaline stress on C4 enzymes, pigments, antioxidant enzymes, and

photosynthesis in leaf, bark, and branch chlorenchyma of poplars. *Photosynthetica*, 51(1), 115-126. doi: 10.1007/s11099-013-0008-3

WILSON, C.; LESCH, S. M.; GRIEVE, C. M. Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*, Pall) and red orach (*Atriplex hortensis* L.). *Annals of Botany*, v. 85, p. 501–509, 2000.

YOSSA, R.; VERDEGEM, M. Misuse of multiple comparison tests and underuse of contrast procedures in aquaculture publications. *Aquaculture*, v. 437, n. 1, p. 344–350, 2015.

YOUSIF, B. S.; NGUYEN, N. T.; FUKUDA, Y.; HAKATA, H.; OKAMOTO, Y.; MASAOKA, Y.; SANEOKA, H. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops: New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). *International Journal of Agriculture & Biology*, v. 12, n. 2, p. 211–216, 2010.

ZILAIE, M. N., ARANI, A. M., ETESSAMI, H., DINARVAND, M., & DOLATI, A. (2022). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte *Seidlitzia rosmarinus*. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104952. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2022.104952>