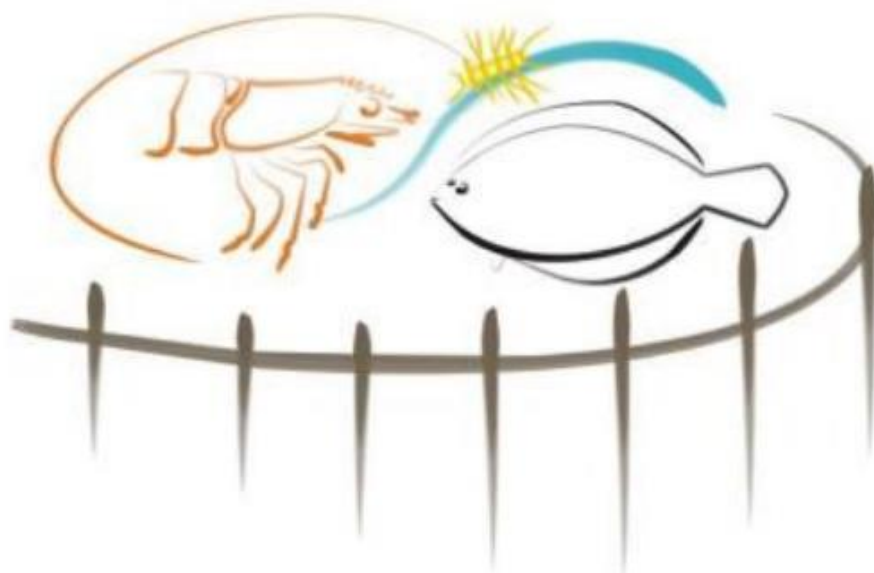




Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Instituto de Oceanografia
Programa de Pós-Graduação em Aquicultura



**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA QUALIDADE
NUTRICIONAL DE HALOFITAS CULTIVADAS COM ÁGUAS SALINAS DE
DIFERENTES SISTEMAS AQUÍCOLAS**

Larissa Midori Konishi Britz

Rio Grande, RS

Abril, 2024

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA QUALIDADE
NUTRICIONAL DE HALOFITAS CULTIVADAS COM ÁGUAS SALINAS DE
DIFERENTES SISTEMAS AQUÍCOLAS**

Larissa Midori Konishi Britz

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Aquicultura no Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande-FURG.

Orientador: César Bonifácio Serra Costa

Rio Grande, RS

Abril, 2024

Ficha Catalográfica

B862a Britz, Larissa Midori Konishi.

Avaliação do desenvolvimento e da qualidade nutricional de halofitas cultivadas com águas salinas de diferentes sistemas aquícolas / Larissa Midori Konishi Britz. – 2024.
64 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Rio Grande/RS, 2024.

Orientador: Dr. César Bonifácio Serra Costa.

1. Floccponia 2. Aquacultura 3. Halófitas 4. Miragaia 5. *Salicornia neei* 6. *Apium graveolens* I. Costa, César Bonifácio Serra II. Título.

CDU 639.3.05

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

ATA 11/2024

DE DEFESA DA 240ª DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AQUICULTURA

No dia vinte oito de março de dois mil e vinte e quatro, às quatorze horas, reuniu-se a banca examinadora de dissertação de mestrado em aquicultura, da **LARISSA MIDORI KONISHI BRITZ**, orientado pelo **PROF. DR. CÉSAR SERRA BONIFÁCIO DA COSTA** composta pelos seguintes membros: **PROF^a. DR^a. ISABELA PINHEIRO (AWI/ Bremerhaven, Alemanha)**, **PROF. DR. GERALDO KIPPER FOES (IO/FURG)**, **PROF. DR. LUIZ HENRIQUE DA SILVA POERSCH (IO/FURG)**. Título da dissertação: **“AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA QUALIDADE NUTRICIONAL DE HALÓFITAS CULTIVADAS EM ÁGUAS SALINAS DE DIFERENTES SISTEMAS AQUÍCOLAS”**. Dando início à defesa, o Coordenador do PPGAq Prof. Dr. Ricardo Vieira Rodrigues, passou a presidência da sessão ao Prof. Dr. César S. B. Costa, que na qualidade de orientador, passou a palavra para o candidato apresentar a dissertação. Após ampla discussão entre os membros da banca e o candidato, a banca se reuniu sob a presidência do coordenador. Durante esse encontro ficou estabelecido que as sugestões dos membros da banca examinadora devem ser incorporadas na versão final da dissertação, ficando a cargo do orientador o cumprimento desta decisão. A candidata **LARISSA MIDORI KONISHI BRITZ**, foi considerada **APROVADA**, devendo a versão definitiva da dissertação ser entregue a Secretaria do PPGAq, no prazo estabelecido nas normas complementares do programa. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, será assinada pela banca examinadora, pelo candidato e pelo coordenador do PPGAq.

- PROF. DR. CÉSAR SERRA BONIFÁCIO DA COSTA (IO/FURG)

Documento assinado digitalmente
 **CESAR SERRA BONIFACIO COSTA**
Data: 06/03/2025 16:05:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- PROF.^a DR.^a ISABELA PINHEIRO (AWI/Alemanha)

Documento assinado digitalmente
 **ISABELA CLAUDIANA PINHEIRO**
Data: 10/03/2025 05:14:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- DR. GERALDO KIPPER FÓES (IO/FURG)

Documento assinado digitalmente
 **GERALDO KIPPER FOES**
Data: 06/03/2025 16:41:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- DR. LUÍS HENRIQUE DA SILVA POERSCH (IO/FURG)

Documento assinado digitalmente
 **LUIS HENRIQUE DA SILVA POERSCH**
Data: 06/03/2025 16:46:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- LARISSA MIDORI KONISHI BRITZ

Documento assinado digitalmente
 **LARISSA MIDORI KONISHI BRITZ**
Data: 06/03/2025 13:31:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- PROF. DR. RICARDO VIEIRA RODRIGUES (Coordenador do PPGAq)

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO VIEIRA RODRIGUES**
Data: 05/03/2025 12:42:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sumário

Sumário	iv
Agradecimentos	vii
Lista de Tabelas	1
Lista de Figuras.....	2
RESUMO GERAL.....	3
CAPÍTULO 1	7
1.1. INTRODUÇÃO GERAL	7
1.2. OBJETIVO GERAL	10
CAPÍTULO 2	12
2.1. INTRODUÇÃO	12
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.2.1. Locais de estudo e origem dos organismos cultivados.....	14
2.2.2. Desenho experimental.....	15
2.2.3. Avaliação de parâmetros físico-químicos das águas.....	17
2.2.4. Avaliação do crescimento das halófitas	18
2.2.5. Avaliação do desempenho das miragaia.....	18
2.2.6. Composições centesimal e mineral das biomassas produzidas das halófitas	18
2.2.7. Análise de dados	19
2.3. RESULTADOS.....	20
2.3.1. Condições ambientais e da qualidade da água	20
2.3.2. Desenvolvimento e produtividade de <i>S. neei</i> e <i>A. graveolens</i> em águas claras e com bioflocos.....	21
2.3.3. Composição centesimal das biomassas de <i>S. neei</i> e <i>A. graveolens</i> em águas com e sem o uso de sistema BFT.....	23
2.3.4. Desempenho da miragaia em águas com e sem o uso de sistema BFT.....	24
2.4. DISCUSSÃO	24
2.4.1. Qualidade das águas do cultivo de miragaia	24
2.4.2. Crescimento e produção de biomassa pelas halófitas em cultivo AC e BFT.....	25
2.4.3. Qualidade da biomassa das halófitas.....	28
2.4.4. Desempenho da miragaia em águas claras e com o uso de sistema BFT.....	30
2.5. CONCLUSÃO	31
CAPÍTULO 3.....	32
3.1. INTRODUÇÃO	32
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.2.2. Desenho experimental e avaliação do crescimento das plantas	37
3.2.3. Composição centesimal das biomassas de <i>S. neei</i>	38
3.2.4. Análise de dados	39
3.3. RESULTADOS.....	39
3.3.1. Condições ambientais e qualidade da água e do solo.....	39

3.3.2. Desenvolvimento e produtividade de <i>S. neei</i>	39
3.3.3. Composição bromatológica e macronutrientes	42
3.4. DISCUSSÃO	45
3.4.1. Dados ambientais	45
3.4.2. Desenvolvimento e o ganho de biomassa vegetal das halófitas	46
3.4.3. Qualidade nutricional da biomassa do aspargo marinho	48
CAPÍTULO 4	50
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	50
Referências	52

“ Entendo bem o sotaque das águas
Dou respeito às coisas desimportantes
e aos seres desimportantes.
Prezo insetos mais que aviões.
Prezo a velocidade
das tartarugas mais que a dos mísseis.
Tenho em mim esse atraso de nascença.
Eu fui aparelhado
para gostar de passarinhos.”

Manoel de Barros

Agradecimentos

Ao orientador, professor César Costa, por me encorajar desde o princípio e acreditar neste trabalho. Por demonstrar o ensinar através do fazer. Pelos ensinamentos, paciência e principalmente os momentos de alegria.

Agradeço às instituições PPGAqui e FURG pela oportunidade de e pela infraestrutura para realizar esta pesquisa. Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Ao Dr. Marcelo Tesser e ao Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos pela colaboração com o projeto. Ao LAPEM pelo cultivo e disponibilização dos juvenis de miragaia. À equipe do Projeto Camarão e ao Laboratório de Avaliação de Impactos da Aquicultura pelo apoio.

À banca pelo aporte no refinamento deste trabalho: Isabela Pinheiro, Geraldo Foes e Luís Poersch.

Ao Robson e seu Walter da fazenda Barroco pela abertura do espaço e ajuda no campo.

Ao apoio dos funcionários da EMA, ao Anderson, ao Marcelo Okamoto e ao Sandro na química, essenciais para a completude deste trabalho.

Aos meus professores que auxiliaram na minha formação.

Aos meus companheiros e companheiras de laboratórios... agradeço imensamente às queridas Isadora e Paola, pelo carinho, cafés, compotas e pela dedicação no preparo e colheita dos experimentos. Ao Pedro e Eduarda pelo auxílio na colheita e biometria dos experimentos. À Cybele pela amizade e apoio com as análises. À Mayra pelo apoio desde o primeiro dia no lab. Andrezza por toda colaboração. Manuel pela ajuda em campo.

Ao meu querido esposo, Victor Torres, pelo apoio nesta jornada, pelas risadas e conversas sinceras.

À minha família do coração, Ana e Jun pela companhia, noites de filmes, vôlei, pelos desabafos e refeições compartilhadas em casa. Vou precisar agradecer também a toda equipe dos Largados e Bem vestidos, por toparem aquela fria só levando boas risadas

Obrigada também à Melissa pela honestidade, o carinho, as cervejas, o carnaval e compartilhar essa imensa alegria que é nossa breve passagem! À Luana pela amizade e troca de receitas. José Arthur e Baloi pelos momentos de alegria e almoços. À profa. Gamze pelos ensinamentos. Luíza Fernandes, pela coragem e aventuras. Felipe Namy pelo apoio e amizade. Thayná pelo carinho e apoio. Ademir e Caio pela dedicação e apoio. Lize pela longa amizade e alegria. Natália, Henrique, Vitória, Giulia, Grazi e Marcela, por compartilharmos momentos de carinho e amadurecimento ainda nas seguintes percursos da vida.

Por fim, à minha família, pelo suporte em todos os momentos. Aos meus pais, Alice Yoshie e Carlos Alexandre, por tudo que fizeram e fazem por mim. À minha irmã, Satie, por coexistir neste mundo. Minha dinda, Juliana Yamaguchi, pelo carinho. À Janete pelo amor e suporte desde sempre. Ao meu primo, Nikolas, pelo encorajamento. E à minha batian, Mieko e dindo Edison, pelo amor que levo em frente.

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Médias ($\pm$ erros padrão) dos parâmetros físico-químicos e de teores de nutrientes das águas dos tanques de miragaia cultivada no tratamento de águas claras (AC) e com tecnologia de bioflocos (BFT). Significâncias dos fatores tratamento BFT (T), semana de cultivo (S) e interação TxS estimadas pelas ANOVA de medidas repetidas são apresentadas. Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam médias significativamente diferentes entre tratamentos BFT ($p < 0,05$) conforme o teste Tukey.	21
Tabela 2.2. Médias ($\pm$ erro-padrão) da biometria e de biomassas frescas de caules e raízes de <i>Salicornia neei</i> após 6 semanas de rebrote (após poda) em aquapônia salina em águas claras (AC) e com bioflocos (BFT). Resultados de ANOVAs aninhadas são apresentados (graus de liberdade dos fatores tratamento e tanques aninhados foram, respectivamente, 1 e 4).	22
Tabela 2.3. Médias ($\pm$ erro-padrão) da biometria e de biomassas frescas de caules e raízes de <i>Apium graveolens</i> após 8 semanas de crescimento em aquapônia salina em águas claras (AC) e com bioflocos (BFT). Resultados de ANOVAs aninhadas são apresentados (graus de liberdade dos fatores tratamento e tanques aninhados para diferentes números amostrais foram, respectivamente, 1 e 4).	22
Tabela 2.4. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises centesimais de <i>Apium graveolens</i> em base seca (PS) e úmida (PU) após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos. Os resultados de teste -t são apresentados.	23
Tabela 2.5. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises centesimais de <i>Salicornia neei</i> em base seca (PS) e base úmida (PU) após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos (BFT). Os resultados de teste-t são apresentados.	23
Tabela 2.6. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises de elementos minerais (em g peso seco kg^{-1}) de caules de <i>Salicornia neei</i> após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos (BFT).	24
Tabela 2.7. Médias ($\pm$ erro-padrão) do desempenho da miragaia <i>P. courbina</i> após 16 semanas de crescimento em sistemas de aquaponia salina com e sem bioflocos.	24
Tabela 3.1. Médias ($\pm$ erro-padrão) dos parâmetros ambientais e da qualidade da água de irrigação nos períodos de estabelecimento (Est) (25/11/22-10/01/23) e rebrote (11/01/23-08/02/23) das plantas de <i>S. neei</i>	40
Tabela 3.2. Médias ($\pm$ erro-padrão) dos parâmetros do solo nos períodos de estabelecimento (Est) (25/11/22-10/01/23) e rebrote (11/01/23-08/02/23) das plantas de <i>S. neei</i>	40
Tabela 3.3. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises quantitativas e biomassa (g) de caules de <i>S. neei</i> , após 4 semanas de rebrote em campos com irrigação salina com águas de um viveiro de carcinocultura em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey.	41
Tabela 3.4. Médias porcentuais ($\pm$ erro-padrão) das análises bromatológicas de caules de <i>S. neei</i> , em base seca (PS) e úmida (PU), após quatro (4) semanas de rebrote em campos com irrigação salina com águas de um viveiro de carcinocultura em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados para umidade e peso e matéria seca e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey.	43

Tabela 3.5. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises de macronutrientes em g kg⁻¹ de caules de *S. neei*, em base seca, após quatro (4) semanas de rebrote em campo irrigado com águas salinas de um viveiro de carcinocultura, em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey. 44

Lista de Figuras

Figura 1.1. <i>Salicornia neei</i>	10
Figura 1.2. <i>Apium graveolens</i> (var. Tall Utah).	11
Figura 2.1. Fotografia de juvenil de miragaia (<i>Pogonias courbina</i>) cultivada no experimento no momento da estocagem dos peixes. (Estação Marinha de Aquicultura – EMA, FURG).	16
Figura 2.2. Cultivo de aspargo marinho e do salsão em balsas flutuantes (“floating raft”) dentro de um tanque com juvenis de miragaia (Estação Marinha de Aquicultura – EMA, FURG).	17
Figura 3.1. Transplante de mudas de salsão e aspargo marinho (A). Crescimento final (B) de canteiros do aspargo marinho <i>Salicornia neei</i> irrigados com águas salinas de um viveiro do camarão branco do Pacífico localizado em Rio Grande (RS) (C).	36

RESUMO GERAL

Além de poder aumentar a segurança alimentar e hídrica, a produção de vegetais a partir do aproveitamento de fontes nutritivas como águas salinas de sistemas aquícolas é uma alternativa sustentável e capaz de gerar renda extra ao produtor. Para esta produção vegetal com águas salinas são necessárias as halófitas, plantas adaptadas às altas concentrações dos íons Na^+ e Cl^- . Esta pesquisa avaliou a produção e a qualidade nutricional das halófitas *Apium graveolens* (var. Tall Utah) (vulgarmente denominada salsão) e *Salicornia neei* (progênie BTH2) (aspargo marinho) em diferentes condições de cultivo salino. Primeiro, as duas halófitas cresceram em aquaponia (hidroponia com águas de sistemas aquícolas) integrada ao cultivo do peixe costeiro miragaia (*Pogonias courbina*) com águas claras e utilizando Tecnologia de Bioflocos (“BFT”), esta última caracterizada por águas com altos teores de sólidos suspensos totais (SST) e consequente cultivo em “flocpônia” das plantas. Adicionalmente, plantas de *A. graveolens* e *S. neei* foram cultivadas em canteiros com diferentes densidades de plantio, irrigados com águas salinas de um cultivo extensivo do camarão branco do Pacífico *Penaeus vanammei*. O primeiro experimento ocorreu em balsas flutuantes dentro de tanques do cultivo de juvenis miragaia com dois tratamentos, em sistema BFT e em águas claras (ambos em salinidade 10 g L^{-1} e em triplicata). Após oito semanas, o salsão foi coletado e seus pesos médios caulinar avaliados em $22,30 \pm 0,85 \text{ g}$ e $0,83 \pm 0,06 \text{ g}$, respectivamente, em aquaponia com e sem bioflocos. O desempenho do aspargo marinho foi avaliado através de poda de nivelamento e quantificação do rebrote de seus caules. Após seis semanas, os pesos médios dos caules foram de $45,94 \pm 2,04$ e $8,35 \pm 0,42 \text{ g}$, respectivamente, em aquaponia com e sem bioflocos. *Salicornia neei* ($0,64 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$) e *A. graveolens* ($0,23 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$) atingiram também maiores produtividades médias de biomassa caulinar em balsas flutuantes no sistema BFT. Não houve diferença no crescimento dos alevinos de *P. courbina* entre os tratamentos. O segundo experimento ocorreu em canteiros com planossolo háplico eutrófico solódico e irrigação superficial (420 L dia^{-1} , salinidade média de $21,9 \pm 0,8 \text{ g L}^{-1}$), com os tratamentos de densidade de plantio de 13 e 25 ind. m^{-2} . Todas as plantas de *A. graveolens* morreram após 3 semanas do plantio. A biomassa média produzida de caules de *S. neei*, rebrotados após 28 dias de uma poda de nivelamento, foi de $0,85 \text{ kg m}^{-2}$, sem diferenças significativas entre as densidades de plantio. Entretanto, melhores parâmetros agrônômicos (biomassa individual de caules e número de ramos com comprimento > 10

cm) foram observados na baixa densidade de plantio e em solos mais úmidos na parte mais baixa do terreno de cultivo. *Salicornia neei* mostrou ser uma boa alternativa para produção aquapônica de biomassa vegetal em bancada flutuante acoplada ao cultivo de miragaia em sistema BFT, bem como para solos irrigados com águas salinas da carcinicultura extensiva. *Apium graveolens* obteve bons crescimento e produtividade em águas de sistemas BFT com salinidade de 10 g L⁻¹, entretanto não conseguiu se desenvolver em solos mais salinos ($\approx$ 20 g L⁻¹) e altas temperaturas do verão no sul do Brasil (média de 25 °C). Os teores de umidade, lipídeos, proteínas e minerais nos caules das halófitas mostraram-se pouco influenciados pelas condições de cultivo aquapônico de água clara e com bioflocos. Valores médios de cinzas e proteína bruta em caules de *S. neei* foram mais elevados em plantas crescidas em canteiros do que em aquaponia, o que pode ser associado à salinidade mais elevada no experimento de campo.

ABSTRACT

Besides improving food and water security, the production of vegetables using nutritional sources such as saline water from aquaculture systems is a sustainable alternative to generate extra income for producers. For plant production with saline waters, halophytes, plants adapted to high concentrations of Na^+ and Cl^- ions are necessary. This dissertation evaluated the production and nutritional quality of the halophytes *Apium graveolens* (var. Tall Utah) and *Salicornia neei* (BTH2 progeny) in different saline cultivation conditions. First, the two halophytes grew in aquaponics (hydroponics with waters from aquaculture systems) integrated with the cultivation of the coastal fish black drum (*Pogonias courbina*) with clear waters and using Biofloc Technology (“BFT”), the latter characterized by waters with high total suspended solids concentration (TSS) and consequent “flocponic” cultivation of the plants. Additionally, plants of *A. graveolens* and *S. neei* were cultivated in field plots with different planting densities, irrigated with saline water from an extensive farming of the Pacific white shrimp *Penaeus vanammei*. The first experiment was carried out with floating rafts placed inside tanks with black drum juveniles subjected to two water treatments: water with and without biofloc (both with salinity of 10 g L^{-1} and with 3 replicates). After eight weeks, celery plants were collected and average individual shoot weights were $22.30 \pm 0.85 \text{ g}$ and $0.83 \pm 0.06 \text{ g}$ in aquaponics with and without bioflocs, respectively. The performance of sea asparagus was evaluated by leveling pruning of shoots and quantification of sprouting. After six weeks, average shoot weights were 45.94 ± 2.04 and $8.35 \pm 0.42 \text{ g}$ in aquaponics with and without bioflocs, respectively. Shoot average biomass productivities of *S. neei* ($0.64 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ days}^{-1}$) and *A. graveolens* ($0.23 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ days}^{-1}$) growing in floating rafts were higher the BFT system than clean water. There was no significant difference in the growth of *P. courbina* fry between treatments. The second experiment took place in field plots with eutrophic solodic haplic soil and surface irrigation (420 L day^{-1} , salinity of $21.9 \pm 0.8 \text{ g L}^{-1}$), with planting density treatments of 13 and 25 ind. m^{-2} . All plants of *A. graveolens* died after 3 weeks of planting. Twenty-eight days after pruning, the average shoot biomass produced by *S. neei* was 0.85 kg m^{-2} and no significant differences was found between planting densities. However, better agronomic parameters (individual shoot biomass and number of shoot branches $> 10 \text{ cm}$ lenght) were observed in low planting density and wet soils in plots located at low ground. *S. neei* proved to be a suitable alternative for biomass production in floating

rafts coupled with black drum cultivation in BFT system and at field plots irrigated with saline waters from shrimp farming. *Apium graveolens* achieved good growth and productivity in waters with salinity of 10 g L⁻¹ and high content of suspended solids in BFT system, however this species was not able to grow in soils with high salt contents ($\approx$ 20 g L⁻¹) and exposed to summer temperatures of southern Brazil (average air temperature of 25 °C). The moisture, lipid, protein and mineral contents of halophytes' shoots were little influenced by cultivation conditions without and with bioflocs. Average values of ash and crude protein in *S. neei* shoots were higher in plants grown in field plots than in aquaponics, which may be associated with the higher salinity in the field experiment.

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO GERAL

A aquaponia consiste da associação do sistema hidropônico de produção de plantas com as águas ou efluentes da produção de organismos aquáticos (Goddek et al., 2019). Esta associação permite uma absorção de parte dos nutrientes dissolvidos na água do sistema aquícola pelas plantas, particularmente nitrato, nitrogênio amoniacal e fosfato (Quintã et al., 2015, Pinheiro et al., 2017; Doncato e Costa, 2023a), com a produção de biomassa vegetal para uso alimentício, farmacêutico e/ou industrial (Doncato e Costa, 2018, Souza et al., 2018; Goddek et al., 2019). Apesar de a aquaponia ser uma técnica já utilizada na antiguidade para produção vegetal, ela vem sendo incorporada às novas tecnologias da aquicultura intensiva (Pinho et al., 2017; 2021a) e a aquicultura salina (Kotzen et al., 2019; Fierro-Sanudo et al., 2020; Doncato e Costa, 2021).

A aquicultura com águas salinas têm cada vez mais contribuído para produção mundial de alimentos, com destaque para peixes com dieta iliófaga-detritívora (ingestores de lodo ou areia), como a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758), e o camarão branco do Pacífico *Penaeus vannamei* (Boone, 1931)(FAO, 2020). Ambas espécies caracterizam-se por apresentarem bons desempenhos zootécnico sem diferentes salinidades, densidades e temperaturas (Van Wyk e Scarpa, 1999; Poersch et al., 2021).

O aumento da produção aquícola também está associado ao maior adensamento dos animais e a utilização de sistemas de cultivos com maior biossegurança, como o cultivo com Tecnologia de Bioflocos (BFT). Neste sistema, através da manipulação da relação carbono e nitrogênio da água, são estimuladas comunidades específicas de microrganismos no meio de cultura, formando agregados (“bioflocos”) que absorvem compostos nitrogenados potencialmente tóxicos (amônia e nitrito) e geram proteína microbiana, reciclando os nutrientes e diminuindo os custos de alimentação, bem como permite a troca mínima de água e a sua reutilização (Ebeling et al., 2006; Emerenciano et al., 2021). Graças ao sistema BFT, os cultivos salinos de peixes e camarões têm migrado para regiões no interior dos continentes (Emerenciano et al., 2021). Adicionalmente, os produtores mais afastados da costa preferem o cultivo de animais marinhos com tolerância a menores salinidades (1 a 20 gL⁻¹), e consequentemente,

quando necessário, uma menor despesa de inclusão de sal nas águas dos cultivos (Lenz et al., 2017).

Uma alternativa ao cultivo aquapônico em águas claras é a floccponia, produção vegetal utilizando efluente aquícola de sistemas com a Tecnologia de Bioflocos (BFT) (Pinho et al., 2017; 2021a). Uma planta nativa do Brasil com potencial já demonstrado para a floccponia salina é o aspargo marinho *Salicornia neei* Lag (Pinheiro et al., 2020). A *S. neei* é um pequeno arbusto suculento, com hastes cilíndricas verde e ramificadas, formadas a partir de folhas fusionadas (**Figura 1.1**). Esta espécie ocorre nas zonas entremarés das marismas ao longo da maior parte da costa atlântica e pacífica da América do Sul (Costa, 2006; Costa e Herrera, 2016; Costa et al., 2019). Sua biomassa de caules e de raízes possui alta qualidade nutricional, rica em macronutrientes e micronutrientes, particularmente ferro e manganês (Doncato e Costa, 2018), além de produzir sementes ricas em ácidos graxos poli-insaturados, principalmente de ácido linoleico (ω -6) e ácido oleico (ω -9) (D'Oca et al., 2012). A biomassa dos caules pode ser utilizada na alimentação humana (Costa, 2006; Doncato e Costa, 2018) e animal (D'Oca et al., 2012; Doncato e Costa, 2018), produção de biocombustível e na indústria farmacêutica (D'Oca et al., 2012; Souza et al., 2018). No Brasil, desde 2005, *S. neei* vem sendo cultivada experimentalmente sob irrigação salina em diferentes zonas climáticas, tipos de solos e salinidades (inclusive igual à da água do mar), atingindo produtividades médias de matéria fresca de caules por safra de 8,2 a 59,5 t ha⁻¹ para períodos de 14 a 30 semanas (Costa e Herrera, 2016).

Outra planta com potencial para uso na floccponia salina é o salsão *Apium graveolens* L. O salsão é uma planta herbácea ereta, de ciclo de vida curto (anual ou bienal), com talos suculentos esverdeados e folhas pinadas compostas, com três a cinco folíolos, pecioladas, de margens serradas (**Figura 1.2**). Esta planta de rápido crescimento possui sabor e aroma singular (Sowbhagya, 2014). A espécie é nativa de marismas do sul da Europa, norte da África e Ásia, sendo também encontrada no continente americano (Khalil et al., 2015). O salsão pode ser cultivado em sistema hidropônico NFT (bancadas de fluxo laminar) com águas com condutividade elétrica de 2 a 10 mS cm⁻¹ (salinidade $\approx$ 1,3 a 6,7 g L⁻¹; Pardossi et al., 1999). Cultivos de *A. graveolens* em solo irrigado com águas salinas (até 15,7 dS m⁻¹ $\approx$ 10,6 g L⁻¹) mostraram a viabilidade de produção, ainda que com uma redução de 25% na biomassa de caules em condutividade elétrica de 8,5 dS m⁻¹ (salinidade $\approx$ 5,7 g L⁻¹; Pascale et al., 2003). Quando exposto à salinidade, o salsão acumula os íons Na⁺ e Cl⁻ no seu tecido (Pardossi

et al., 1998), bem como ajusta-se osmoticamente com a produção do osmólito manitol (Everard, 1994). Logo, pode ser fonte de produtos bioativos.

Novas espécies de peixes também têm sido introduzidas em cultivos aquapônicos. Em recente revisão, Pinho et al. (2021b) identificaram peixes nativos do Brasil com potencial para cultivos aquapônicos comerciais, caracterizando apenas algumas espécies de robalo (*Centrossomus* spp) como adaptáveis a aquaponia salina. Neste trabalho os autores enfatizam a necessidade da espécie de peixe escolhida ser capaz de crescer em altas densidades, bem como ter tolerância a altos teores de sólidos em suspensão e nutrientes dissolvidos. As características acima citadas são mais marcadamente necessárias para cultivo em sistemas BFT.

Outras espécies de peixes, não incluídas na revisão acima, possuem grande potencial para a aquacultura intensiva salina. Por exemplo, a espécie nativa *Pogonias courbina* (Lacepède, 1803) (Teleostei: Sciaenidae), popularmente conhecida como miragaia, corvina-preta ou “black drum” tem sido avaliada quanto ao ciclo de vida, estocagem e tolerância a salinidade (Rodrigues, 2019), podendo inclusive ser considerada para cultivos floppônicos salinos. Sua distribuição ocorre do Rio de Janeiro até o golfo da San Matias, Argentina (Azpelicueta et al., 2019). É uma espécie estuarino-dependente, habitando preferencialmente águas estuarinas rasas quando juvenil e águas costeiras na idade adulta (Urteaga e Perrota, 2001; Haimovici et al., 2020), consequentemente cresce em águas turbas e em uma ampla faixa de salinidade. A maturação ocorre entre seus três e quatro anos iniciais, vivendo até 57 anos, com peso máximo conhecido de 48 kg e atingindo mais de 1,40 m de comprimento (Urteaga e Perrota, 2001; Haimovici et al., 2020). Esta espécie é bem-adaptada para comer no fundo, possuindo uma boca subterminal aproximadamente horizontal (Azpelicueta et al., 2019). Juvenis pequenos (< 60 mm) tendem a se alimentar de copépodos, anfípodes e poliquetos, enquanto juvenis maiores e adultos predam especialmente invertebrados bentônicos, como bivalves e caranguejos (Urteaga e Perrota, 2001; Azpelicueta et al., 2019; Haimovici et al., 2020). O estudo recente de Poersch et al., (2021) demonstrou a viabilidade do cultivo de *Sciaenops ocellatus* (“red drum”) em sistema multitrófico com tecnologia de bioflocos, espécie esta da família Scianidae com história de vida e hábito alimentar similares da miragaia. Não se encontra na literatura a produção da miragaia *P. courbina* em cultivo salino com bioflocos ou sistemas convencionais de aquicultura em escala piloto.

Este estudo visou avaliar o desenvolvimento, a produção e a composição química das halófitas *S. neei* e *A. graveolens* em diferentes condições de cultivo com águas salinas provenientes de cultivos de peixes e de camarão marinho. No Capítulo 2 são apresentados resultados de um experimento onde foi testada a viabilidade de cultivo de *A. graveolens* e *S. neei* utilizando efluentes do cultivo de miragaia com e sem bioflocos. No Capítulo 3, os desempenhos das plantas de *S. neei* e *A. graveolens* foram quantificados em planossolo irrigado com água salina da produção em um viveiro do camarão branco do Pacífico *P. vannamei*. No Capítulo 4 são realizadas considerações gerais sobre o cultivo das halófitas em aquaponia e solos.

1.2. OBJETIVO GERAL

Quantificar o desenvolvimento e a qualidade da biomassa do aspargo marinho (*S. neei*) e do salsão (*A. graveolens*) em águas salinas do cultivo da miragaia *P. courbina* com e sem o uso de bioflocos, bem como em solos irrigados com águas salinas da carcinicultura extensiva.



Figura 1.1. *Salicornia neei*.



Figura 1.2. *Apium graveolens* (var. Tall Utah).

CAPÍTULO 2

Aquaponia das halófitas *Salicornia neei* e *Apium graveolens* em águas sem e com bioflocos de cultivos de miragaia (*Pogonias courbina*) em baixa salinidade

2.1. INTRODUÇÃO

A aquaponia é definida como a recirculação de resíduos e nutrientes das águas da aquicultura em cultivos vegetais, capazes de gerar biomassa com alto valor agregado (Goddek et al., 2019). No caso da aquicultura com águas salinas, a aquaponia precisa de plantas adaptadas às altas concentrações dos íons Na^+ e Cl^- , comumente denominadas como halófitas (Kotzen et al., 2019; Fierro-Sanudo et al., 2020). Halófitas possuem diversos mecanismos de tolerância a salinidade, tais como diluição, exclusão, excreção e compartimentação intracelular do Na^+ e Cl^- (Rozema e Schat, 2013; Souza et al., 2018). Ricas em sais minerais e compostos nutritivos e bioativos, tais como ácidos graxos polinsaturados (e.g., ω -3 e ω -6), flavonoides e vitaminas (Ventura et al., 2011; Costa e Herrera, 2016; Souza et al., 2018), a produção de halófitas associadas à sistemas aquícolas pode propiciar uma renda adicional produtor, bem como pode tratar as águas diminuindo a carga de macronutrientes das águas recirculadas ou dos efluentes (Custódio et al., 2021).

A floponia é uma alternativa ao cultivo em aquaponia, onde são recirculadas águas de sistemas aquícolas com a Tecnologia de Bioflocos (“Biofloc Technology - BFT”) para produção vegetal (Pinho et al., 2017; 2021a; Kotzen et al., 2019). Em sistemas BFT, a partir da manipulação dos teores de nitrogênio e carbono na água do cultivo, são estimuladas comunidades microbianas capazes de absorverem compostos nitrogenados potencialmente tóxicos (amônia e nitrito) e gerarem proteína microbiana “in situ” (Emerenciano et al., 2021). Estas condições permitem o desenvolvimento de cultivos superintensivos de crustáceos e peixes (com centenas de indivíduos por m^2 ou m^3), além da troca mínima de água e a sua reutilização. Entretanto, cultivos BFT, após sucessivas fertilizações orgânicas acumulam altos teores de material orgânico particulado (sólidos) em suspensão na água, formado por agregados microbianos (“bioflocos”), além de altos teores de nitrato dissolvido provenientes de bactérias quimioautótrofas que promovem a nitrificação (Goddek et al., 2019; Emerenciano et al., 2021). A adição e o acúmulo progressivo do fósforo na água de cultivos BFT pode

também ocorrer, devido a degradação de rações e excretas dos animais (Poli et al., 2019). Enquanto altas disponibilidades de nitrato e fósforo são favoráveis ao crescimento de plantas herbáceas (Doncato e Costa, 2023a), o excesso de sólidos em suspensão pode gerar grandes demandas biológicas e químicas de oxigênio, trocas no potencial de oxirredução e do pH do meio, afetando a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, além de poder colmatar as raízes em meio hidropônico, dificultando a absorção de nutrientes e até levar ao apodrecimento das raízes (Rakocy, 2012; Pinho et al., 2017). Logo, a floccponia é um sistema complexo e multidisciplinar para a produção de alimento, que surge a partir da aquaponia em sistema BFT (Pinho et al., 2021a; 2022), que após o preenchimento de várias lacunas de conhecimento pode tornar-se uma alternativa eficiente e sustentável (Kotzen et al., 2019). Poucos são os estudos de avaliação de sistemas floccpônicos com modelos ou protótipos comerciais (Pinho et al., 2021a; 2022), bem como poucas são as espécies de plantas halófitas com alto valor de biomassa agregado para o mercado disponíveis para floccponia salina (Kotzen et al., 2019; Doncato e Costa, 2021; 2022; Pinho et al., 2021a).

Salicornia neei Lag. (Amaranthaceae) é uma planta herbácea perene que demonstra alta produtividade quando irrigada com águas com diferentes salinidades de cultivos com sistema BFT (Pinheiro et al., 2017; 2020; Poli et al., 2019; Doncato e Costa, 2021; 2022; 2023b). Plantas do gênero *Salicornia* são comumente chamadas de aspargos marinho e apresentam seu valor in natura no mercado brasileiro de R\$ 57,00 por 100 g na empresa Salty e internacionalmente 6,5 € por 110 g em conserva. A *S. neei* apresenta ampla distribuição na costa atlântica e pacífica da América do Sul (Costa e Herrera, 2016; Costa et al., 2019) e possui biomassa de caules e de raízes com alto valor nutritivo, rica em macro- e micronutrientes (Bertin et al., 2014; 2016; Riquelme et al., 2016; Doncato e Costa, 2018), além de altos teores de compostos bioativos (Souza et al. 2018). Esta halófita é uma importante referência na avaliação de novas espécies vegetais a serem cultivadas em águas salinas com sistema BFT (Fierro-Sanudo et al., 2020).

Outra espécie de planta com valor de mercado e que pode ser cultivada em águas salinas é o salsão ou aipo *Apium graveolens* L. (Apiaceae). Cosmopolita e com um grande número de variedades comerciais (Khalil et al., 2015), o salsão pode ser cultivado em sistema hidropônico e em solo irrigado com águas salinas (até 15,7 dS m⁻¹, salinidade ≈ 1,3 a 10,6 g L⁻¹) (Pardossi et al., 1999; Pascale et al., 2003). É uma planta rica em vitamina C, potássio, cálcio e magnésio, usada medicinalmente como diurético,

estimulante e sedativo (Sowbhagya, 2014). Entretanto, ao contrário de *S. neei*, não foi encontrado na literatura nenhum relato de cultivo do aipo com águas de sistemas aquícolas BFT.

Novas espécies de peixes também têm sido introduzidas em cultivos com sistema BFT e suas águas utilizadas na aquaponia salina. Poersch et al. (2021) demonstraram a viabilidade do cultivo de *Sciaenops ocellatus* (“red drum”; família Scianidae) em sistema multitrófico com tecnologia de bioflocos. No Brasil, a espécie nativa miragaia, corvina-preta (“black drum”) *Pogonias courbina* (Lacepède, 1803) (Sciaenidae) possui potencial para cultivos BFT salinos (Rodrigues, 2019), uma vez que habita águas estuarinas turbidas quando juvenil e águas costeiras na idade adulta (Urteaga e Perrota, 2001; Haimovici et al., 2020), consequentemente cresce em uma ampla faixa de salinidade. Na natureza a miragaia pode viver 55 anos e atingir mais de 60 kg (Haimovici et al., 2020), sendo a sua reprodução e o seu crescimento estudados em laboratório visando o desenvolvimento de um programa de repovoamento de populações naturais (Benato et al., 2023), bem como a avaliação da sua produtividade para a maricultura (Rodrigues, 2019). A avaliação do crescimento da miragaia em sistema BFT ainda não foi realizada, entretanto, o cultivo de juvenis ou adultos desta espécie em sistema BFT pode possibilitar a disponibilidade de águas ricas em nutrientes para floponia salina.

O presente estudo visou avaliar o crescimento, a produção e a qualidade nutricional das biomassas do aspargo marinho *S. neei* e do salsão *A. graveolens* produzidos em aquaponia salina com águas de cultivos de miragaia, com e sem o uso de sistema BFT. Este estudo também permitiu testar a hipótese que a miragaia pode apresentar um bom desempenho zootécnico em sistema BFT.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1. Locais de estudo e origem dos organismos cultivados

O experimento foi realizado na Estação Marinha de Aquicultura (EMA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na praia do Cassino (Rio Grande, RS; 32°12'19" S; 52°10'45" W), na primavera de 2022 (8 semanas; 04/08 a 28/09/2022).

Plantas de *A. graveolens* (variedade Utah) foram propagadas por sementes adquiridas de fornecedor comercial (marca Feltrin®) e germinadas em incubadora. Mudanças de *S. neei* (progênie BTH2; Costa et al., 2019) foram obtidas a partir da

propagação vegetativa de plantas mantidas no germoplasma do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH-FURG), utilizando a técnica de propagação vegetativa por estaquia (Costa e Herrera, 2016).

Os juvenis de miragaia *P. courbina* utilizados no experimento foram fornecidos pelo Laboratório de Piscicultura Estuarina e Marinha (LAPEM, FURG), a partir da reprodução de espécimes maduros (CEUA do projeto é 23116.006908/2017-81).

2.2.2. Desenho experimental

Os desenvolvimentos do aspargo marinho e do salsão foram avaliados em um experimento fatorial com dois tratamentos em triplicata: cultivados em águas do cultivo de miragaia em águas claras e BFT. Seis tanques tipo raceway circular de 20 m³ (volume útil de 15 m³), com sistema de aeração via aerotubos com um blower 7,5 HP, foram construídos em uma estufa agrícola não climatizada, sendo três tanques alocados para cada tratamento. Os tanques foram preenchidos com água do mar e a salinidade de cultivo reduzida a 10 g L⁻¹, utilizando-se água captada da chuva. Nos tanques com BFT, o estabelecimento e a manutenção do cultivo com bioflocos ocorreu mediante a fertilização com fonte de carbono orgânico (melaço) para manter uma relação carbono:nitrogênio de 15:1 (Ebeling et al., 2006). Durante o período do experimento os bioflocos estavam já em sua fase madura, a relação carbono:nitrogênio estável e sem adição posterior de melaço. A priori, em cada tanque com bioflocos foi adicionado cal hidratada para elevar a alcalinidade a níveis superiores a 100 mg CaCO₃ L⁻¹, necessários para manter os níveis de carbono inorgânicos disponíveis para as bactérias quimioautotróficas dos bioflocos (Ebeling et al., 2006). No “tanque 5”, sem bioflocos, durante a quinta semana do experimento ocorreu um pico na concentração de amônia, sendo efetuada a renovação de 30% da água deste tanque. Em cada tanque, juvenis de miragaia com peso médio inicial de 5,4 ± 0,07 g (± erro-padrão) foram estocados em densidade de 21 ind m⁻³ (315 peixes por tanque). Os peixes foram alimentados com dieta comercial seca (38-40% de proteína bruta). As taxas de alimentação dos peixes foram ajustadas quinzenalmente, a partir de amostragens e biometrias realizadas durante o estudo. Os juvenis de miragaia foram estocados nos tanques após a estabilização dos cultivos de bioflocos (**Figura 2.1**), o que ocorreu 35 dias antes da integração dos tanques com os sistemas hidropônicos, com os níveis de nitrito e amônia em níveis reduzidos, sendo as concentrações médias de nitrogênio amoniacal total (NAT) ± erro padrão: 0,10 ± 0,00 e 0,09 ± 0,00, nitrito 0,04 ± 0,00 e 0,11 ± 0,04 e nitrato 0,08 ± 0,00 e 47,66 ± 8,19, nos tratamentos de águas claras e de bioflocos. A despesca ocorreu 130

dias após a estocagem e os pesos médios das miragaia no tratamento com bioflocos e em águas claras foram estimados.

Quanto ao cultivo das halófitas, este ocorreu no sistema de balsa flutuante (“floating raft”)(**Figura 2.2**). Cada tanque recebeu uma balsa composta por dois flutuadores de polietileno de alta densidade, conectados por uma estrutura metálica, onde calhas (tubos) de PVC (8,5 cm x 4 cm e 300 cm) com as plantas, que foram mantidas na superfície da água, permitindo a água fluir continuamente pelas varas sem restrições. Cada balsa continha 4 calhas de PVC com um espaçamento entre calhas de 10 cm, sendo duas para cada espécie de halófita (22 plantas por calha de PVC; densidade ≈ 20 plantas m^{-2} por espécie). Cada planta foi colocada em um copo rede com fundo vazado e cascalho (1-2 cm) para assegurar as raízes. Uma vez por semana, as varas eram inclinadas para que o material particulado retido em seu interior pudesse sair de volta para os tanques.



Figura 2.1. Fotografia de juvenil de miragaia (*Pogonias courbina*) cultivada no experimento no momento da estocagem dos peixes. (Estação Marinha de Aquicultura – EMA, FURG).



Figura 2.2. Cultivo de aspargo marinho e do salsão em balsas flutuantes (“floating raft”) dentro de um tanque com juvenis de miragaia (Estação Marinha de Aquicultura – EMA, FURG).

2.2.3. Avaliação de parâmetros físico-químicos das águas

Durante as oito semanas do experimento foram quantificadas diariamente a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido com um aparelho multiparâmetro HACH HQ40d®, bem como o pH com pHmetro FEP20 Mettler Toledo® e, semanalmente, a salinidade com um refratômetro. Amostras de água (50 ml) foram coletadas semanalmente nos tanques, filtradas com filtros Whatman GF/C pré-pesados, e o teor de sólidos suspensos totais (SST) retido foi estimado por gravimetria (Strickland e Parsons, 1972). Os filtrados foram posteriormente analisados para as concentrações dissolvidas de nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito e fosfato (Baumgarten et al., 2010), através de espectrofotometria. Os teores de nitrato foram estimados pelo método descrito por Garcia-Robledo et al. (2014).

2.2.4. Avaliação do crescimento das halófitas

No início do cultivo foi realizada a biometria de uma amostra aleatória de 15 indivíduos de cada espécie de planta. A altura dos caules e o número de ramificações dos caules das plantas de *S. neei* (médias globais $\pm$ erro padrão) foram, respectivamente, de $9,05 \pm 0,25$ cm e $19,20 \pm 3,52$ ramos por planta. Plantas de *A. graveolens* apresentavam médias de altura dos caules de $3,32 \pm 0,24$ cm e um número de folhas de $3,45 \pm 0,13$ por plantas. Plantas de *S. neei* são capazes de rebrote (Costa e Herrera, 2016; Doncato e Costa, 2022) e tiveram os seus caules cortados a cinco cm de altura 14 dias (duas semanas) após o início do experimento (período de aclimação e integração das balsas flutuantes aos tanques de miragaia). Ao final de 56 dias (oito semanas) de cultivo, as halófitas foram coletadas e os seus desenvolvimentos avaliados; no caso específico da *S. neei*, o tempo de crescimento do rebrote foi de seis semanas após a poda. Raízes e caules foram separados por corte com tesoura e as medidas biométricas dos caules feitas no início do cultivo foram repetidas para todas as plantas. Foram coletadas apenas as raízes de *S. neei* e *A. graveolens* que cresceram para fora do copo rede (a presença das raízes fora dos copos rede não era observada no início do cultivo). As biomassas frescas de caules e de raízes de cada planta foram estimadas através de uma balança de precisão ($\pm 0,01$ g). O percentual de biomassa alocada para os caules foi estimado considerando a biomassa total de cada planta (caules+raízes). A biomassa caulinar por m² foi calculada a partir da biomassa média multiplicada por 20 - número de plantas por m² cultivadas nas balsas flutuantes. Posteriormente, a biomassa do caule foi seca em estufa (60 °C por 48 horas) e pesada em balança de precisão ($\pm 0,01$ g), permitindo a estimativa da suculência do caule, como o percentual de água calculado pela diferença entre as biomassas fresca e seca.

2.2.5. Avaliação do desempenho das miragaias

O desempenho final das miragaias nos sistemas com e sem bioflocos foi avaliado ao final dos 130 dias de cultivo pela sobrevivência dos peixes nos tanques, peso final dos indivíduos medido em uma balança digital ($\pm 0,01$ g) e a produtividade por volume dos tanques (m³).

2.2.6. Composições centesimal e mineral das biomassas produzidas das halófitas

A composição centesimal das biomassas das duas espécies de halófitas foi analisada a partir da matéria seca de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959) para lipídios e da AOAC (1995) para determinação de umidade, cinzas e proteína bruta.

Para este último parâmetro foi utilizada o fator de conversão de nitrogênio para proteína bruta de 4,06 para *S. neei* (M.M Souza per. com.) e de 4,43 para *A. graveolens* (fator para plantas em geral, baseado no estudo de Yeoh e Wee, 1996). Para cada espécie, as análises foram feitas no mínimo com duas amostras secas de caules para cada tratamento, sendo cada amostra composta por 2 ou mais plantas.

As cinzas representaram uma componente muito significativo da massa seca das plantas de *S. neei* (média global = 33,64 %; veja seção Resultados), sendo realizadas análises da composição mineral somente dos caules desta espécie. As biomassas de mais de uma planta foram combinadas para compor amostras secas de caules para cada tratamento, que foram moídas em almofariz com pistilo e submetidas a digestão nítrico-perclórica e sulfúrica, conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), em bloco digestor da TECNAL®. Nos extratos obtidos das digestões foram determinados o nitrogênio (N) por destilação e titulação (Tedesco et al., 1995), fósforo (P) com o espectrofotômetro ultravioleta visível Varian® 634, potássio (K) por fotometria de chama Digimed® NK-2000, bem como o cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer® 403. Todas as análises de minerais foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), os laudos foram certificados com conceito “A” pelo Controle de Qualidade do Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), pertencente a Universidade de São Paulo (USP), Campus Piracicaba.

2.2.7. Análise de dados

Todos os dados de qualidade da água, crescimento e produtividade das plantas e zootécnicos da miragaia foram testados quanto aos princípios de normalidade e homocedasticidade, sendo transformados quando necessário. Dados de fosfato foram transformados com a função $\text{Log}_{10}(100x)$. Para a *S. neei*, a variável altura do caule foi transformada através da função $\text{Log}_{10}(x)$, e a variável número de ramificações do caule através da função $\sqrt{x}$.

Diferenças entre os tratamentos de bioflocos e de águas claras para os parâmetros físico-químicos e os teores de nutrientes na água foram testadas através de Análises de Variância (ANOVA) de medidas repetidas (semanas de coleta) de uma via (fator fixo = sistema BFT) (Zar, 2010). O fator de interação tratamento BFT X Semanas

foi considerado no modelo de ANOVA adotado e as diferenças significativas ($p < 0,05$) entre médias foram avaliadas através do teste a posteriori de Tukey.

Para cada espécie de planta, os resultados biométricos, de suculência dos caules e de biomassas de caules, raízes e total, além da alocação de biomassa para os caules foram comparados entre tratamentos através de Análises de Variância (ANOVA) aninhadas (Zar 2010), sendo o fator de aninhamento os tanques de cultivo. Diferenças significativas ($p < 0,05$) entre médias foram avaliadas através do teste a posteriori de Tukey.

Diferenças na composição centesimal de biomassa (lipídios, cinzas, umidade e proteína bruta) das duas halófitas e na composição mineral dos caules de *S. neei* (N, P, K, Ca e Mg) entre tratamentos foram avaliadas a partir do teste t-Student (Zar 2010). Diferenças na sobrevivência, no peso médio final e na produtividade por volume dos tanques (m^3) da miragaia entre os tratamentos em águas claras e com bioflocos também foram comparados através do teste t-Student.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Condições ambientais e da qualidade da água

Durante as oito semanas do experimento das halófitas, a temperatura do ar dentro da estufa variou entre 9 e 38 °C (média diária= $24,85 \pm 3,50$ °C) e a intensidade de radiação solar não ultrapassou $1,7 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (1668 W m^{-2}) e a média diária de radiação solar foi de $6,56 \pm 2,87 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

As condições médias de temperatura e oxigênio dissolvido nas águas dos tanques de miragaia variaram ao longo do experimento ($p < 0,001$), associadas ao aquecimento atmosférico no decorrer da primavera 2022, mas não apresentaram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos com águas claras e bioflocos (Tabela 2.1). As médias globais de salinidade foram semelhantes entre os tanques dos dois tratamentos. Tanques com bioflocos apresentaram alcalinidade e pH ($p < 0,001$) maiores do que de águas claras. As concentrações médias de nitrato, nitrito e fosfato dissolvidos e sólidos suspensos totais (SST) na água apresentaram valores significativamente ($p < 0,001$) maiores nos tanques com BFT (Tabela 2.1). O teor de NAT foi significativamente ($p < 0,05$) menor nos tanques com bioflocos.

Tabela 2.1. Médias ($\pm$ erros padrão) dos parâmetros físico-químicos e de teores de nutrientes das águas dos tanques de miragaia cultivada no tratamento de águas claras (AC) e com tecnologia de bioflocos (BFT). Significâncias dos fatores tratamento BFT (T), semana de cultivo (S) e interação TxS estimadas pelas ANOVA de medidas repetidas são apresentadas. Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam médias significativamente diferentes entre tratamentos BFT ($p < 0,05$) conforme o teste Tukey.

Parâmetros	AC			BFT		T	S	T x S
	N	Média	n	Média	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
Temperatura (°C)	246	21,55 $\pm$ 1,16	246	21,1 $\pm$ 1,13	*	***	ns	ns
Salinidade	24	10,31 $\pm$ 0,15	24	10,14 $\pm$ 0,14	ns	ns	ns	ns
Oxigênio (mg L ⁻¹)	246	8,00 $\pm$ 0,08	246	8,03 $\pm$ 0,06	ns	***	ns	ns
pH	57	8,27 $\pm$ 0,04b	57	8,55 $\pm$ 0,02 ^a	***	***	***	***
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	60	92 $\pm$ 1,58 ^a	60	157,16 $\pm$ 3,25b	***	***	***	***
SST (mg L ⁻¹)	18	60,66 $\pm$ 8,04 ^a	18	141,61 $\pm$ 10,45b	***	***	***	***
Nitrato (mg L ⁻¹)	24	0,07 $\pm$ 0,01b	24	60,62 $\pm$ 7,84a	***	*	***	***
Nitrito (mg L ⁻¹)	42	0,08 $\pm$ 0,01 ^a	42	0,26 $\pm$ 0,04b	***	ns	***	***
NAT (mg L ⁻¹)	48	0,16 $\pm$ 0,06b	48	0,04 $\pm$ 0,01	*	ns	*	*
Fosfato (mg L ⁻¹) #	24	1,07 $\pm$ 0,07b	24	2,77 $\pm$ 0,21	***	**	***	***

SST= Sólidos totais suspensos; NAT= Nitrogênio amoniacal total; ns = não significativo ($p > 0,05$); *** = $p < 0,001$. **= $p < 0,01$ *= $p < 0,05$
=transformação dos dados em Log₁₀(100 x).

2.3.2. Desenvolvimento e produtividade de *S. neei* e *A. graveolens* em águas claras e com bioflocos

Não houve mortalidade de plantas durante o experimento. Exceto pelas médias do número de ramos dos caules de *S. neei* (Tabela 2.2) e do comprimento de raízes de *A. graveolens* (Tabela 2.3), plantas de ambas espécies apresentaram parâmetros biométricos e produção de biomassa significativamente ($p < 0,001$) maiores nos tanques de miragaia com bioflocos ao final do experimento. Este crescimento diferenciado ocorreu, para ambas espécies, principalmente através do desenvolvimento em altura dos caules. As biomassas médias de caules de *S. neei* e *A. graveolens* foram, respectivamente, 4,5 vezes e 25,9 vezes maiores em tanques com bioflocos do que sem bioflocos. Além disso, ambas espécies mostraram uma maior alocação de biomassa para caules nas águas mais ricas em nutrientes dos tanques com bioflocos (biomassa média de caules de *S. neei* e *A. graveolens*, respectivamente, 95,2% e 61,3% da biomassa total).

As ANOVAs aninhadas também detectaram diferenças significativas entre os tanques dos tratamentos, quanto a altura e as biomassas de caules e total de *A.*

graveolens, bem como todos os parâmetros biométricos e componentes da biomassa das plantas de *S. neei* (Tabelas 2.2 e 2.3). Em todos os casos, um maior desempenho das plantas ocorreu em um dos tanques com BFT onde a concentração média de nitrato dissolvido foi maior ($67,85 \pm 10,40 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$) do que dos outros dois tanques deste tratamento ($40,00 \pm 4,36$ e $45,71 \pm 5,71 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$).

Tabela 2.2. Médias ($\pm$ erro-padrão) da biometria e de biomassas frescas de caules e raízes de *Salicornia neei* após 6 semanas de rebrote (após poda) em aquapônia salina em águas claras (AC) e com bioflocos (BFT). Resultados de ANOVAs aninhadas são apresentados (graus de liberdade dos fatores tratamento e tanques aninhados foram, respectivamente, 1 e 4).

Parâmetros	N	AC	N	BFT	F Trat	Sig	F Tanq	Sig
Altura do caule (cm) #	124	10,95 $\pm$ 0,27 b	124	18,64 $\pm$ 0,45 a	246,52	***	14,24	***
Ramos (por planta) \$	124	25,57 $\pm$ 0,94 b	124	28,71 $\pm$ 0,85 a	7,43	***	1,67	ns
Biomassa de caules (g)	124	8,35 $\pm$ 0,42 b	124	45,94 $\pm$ 2,04 a	763,74	***	22,59	***
Biomassa de raízes (g)	65	1,74 $\pm$ 0,22 b	66	2,30 $\pm$ 0,20 a	8,39	***	4,29	*
Biomassa total (g)	65	10,69 $\pm$ 0,83 b	66	51,40 $\pm$ 3,03 a	317,01	***	32,25	***
Alocação para caule (%)	65	85,05 $\pm$ 1,10 b	66	95,19 $\pm$ 0,42 a	86,63	***	6,9	***

= transformação por $\text{Log}_{10}(100x)$. \$ = transformação por Raiz Quadrada(x).

ns – Não significativo ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 2.3. Médias ($\pm$ erro-padrão) da biometria e de biomassas frescas de caules e raízes de *Apium graveolens* após 8 semanas de crescimento em aquapônia salina em águas claras (AC) e com bioflocos (BFT). Resultados de ANOVAs aninhadas são apresentados (graus de liberdade dos fatores tratamento e tanques aninhados para diferentes números amostrais foram, respectivamente, 1 e 4).

Parâmetros	N	AC	N	BFT	F Trat	Sig	F Tanq	Sig
Altura do caule (cm)	128	6,56 $\pm$ 0,19 b	123	22,84 $\pm$ 35,97 a	1.999,92	***	17,90	***
Folhas (por planta)	128	16,47 $\pm$ 0,52 b	123	59,48 $\pm$ 1,78 a	952,70	***	14,49	***
Ramos (por planta)	128	4,75 $\pm$ 0,08 b	123	8,54 $\pm$ 0,17 a	498,43	***	7,20	***
Comprimento da raiz (cm)	128	13,41 $\pm$ 0,42	123	13,69 $\pm$ 0,41	0,32	ns	16,03	***
Biomassa de caules (g)	128	0,83 $\pm$ 0,06 b	124	22,30 $\pm$ 0,85 a	1072,53	***	39,61	***
Biomassa de raízes (g)	128	1,52 $\pm$ 0,13 b	124	13,61 $\pm$ 0,56 a	511,23	***	12,29	***
Biomassa total (g)	128	2,35 $\pm$ 0,19 b	124	35,97 $\pm$ 1,14 a	932,75	***	4,95	***
Alocação para caule (%)	128	37,67 $\pm$ 0,6 b	124	61,33 $\pm$ 1,08 a	1084	***	118,45	***

ns – Não significativo ($p > 0,05$); *** = $p < 0,001$.

2.3.3. Composição centesimal das biomassas de *S. neei* e *A. graveolens* em águas com e sem o uso de sistema BFT.

Ao final do experimento, plantas de *A. graveolens* apresentaram altos valores de proteína bruta, que foram significativamente ($p < 0,01$) maiores em tanques com bioflocos ($12,88 \pm 1,35\%$; Tabela 2.4). Plantas no tratamento com BFT também apresentaram maior ($p < 0,01$) teor médio de umidade do que no tratamento com águas claras.

A composição centesimal das biomassas de *S. neei*, caracterizadas por altos teores de cinzas, apresentou teor médio deste componente significativamente ($p < 0,001$) maior em tanques com bioflocos ($35,43 \pm 1,65\%$; Tabela 2.5). Entretanto, os caules das plantas desta halófito tiveram maiores ($p < 0,05$) teores médios de P e K em tanques sem bioflocos (Tabela 2.6). Os macro-elementos Ca, Mg e N dos caules de *S. neei* não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 2.4. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises centesimais de *Apium graveolens* em base seca (PS) e úmida (PU) após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos. Os resultados de teste -t são apresentados.

%	AC		BFT		Teste- t	Sig.
	PU	PS	PU	PS		
Umidade	$86,77 \pm 1,82$ b	-	$88,16 \pm 1,18$ a	-	-3,43	**
Cinzas	2,12	$16,04 \pm 0,14$	2,03	$17,15 \pm 0,57$	-2,53	ns
Proteína Bruta	0,94	$7,79 \pm 0,06$ b	1,39	$12,88 \pm 1,35$ a	-5,02	**
Lipídios	0,39	$2,95 \pm 0,71$	0,45	$3,84 \pm 1,09$	-1,00	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$); ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 2.5. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises centesimais de *Salicornia neei* em base seca (PS) e base úmida (PU) após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos (BFT). Os resultados de teste-t são apresentados.

%	AC		BFT		Teste-t	Sig.
	PU	PS	PU	PS		
Umidade	$87,3 \pm 4,8$	-	$87,9 \pm 3,3$	-	-0,5	ns
Cinzas	3,97	$31,45 \pm 1,2$ b	4,27	$35,43 \pm 1,6$ a	-5,55	***
Proteína Bruta	0,71	$5,65 \pm 0,58$	0,71	$5,96 \pm 0,53$	-0,94	ns
Lipídios	0,3	$2,44 \pm 0,35$	0,35	$2,91 \pm 0,75$	-1,41	ns
Fibras	0,54	$4,59 \pm 0,54$	0,54	$4,59 \pm 0,72$	-0,01	ns
E.L.N.	7,11	-	6,20	-	-	-

ns – Não significativo ($p > 0,05$); ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 2.6. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises de elementos minerais (em g peso seco kg^{-1}) de caules de *Salicornia neei* após crescimento em aquapônia salina com águas claras (AC) e bioflocos (BFT).

Composição	AC	BFT	Teste-t	Sig.
P	2,25 $\pm$ 0,12 a	1,32 $\pm$ 0,13 b	5,13	**
K	23,70 $\pm$ 0,81 a	20,14 $\pm$ 0,81 b	3,08	*
Ca	6,97 $\pm$ 0,30	6,36 $\pm$ 0,52	1,00	ns
Mg	24,11 $\pm$ 2,40	25,17 $\pm$ 0,80	-0,41	ns
N	12,82 $\pm$ 0,40	18,81 $\pm$ 4,87	-1,23	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$.

2.3.4. Desempenho da miragaia em águas com e sem o uso de sistema BFT.

A miragaia apresentou os parâmetros de sobrevivência, peso médio final e produtividade sem diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2.7).

Tabela 2.7. Médias ($\pm$ erro-padrão) do desempenho da miragaia *P. courbina* após 16 semanas de crescimento em sistemas de aquaponia salina com e sem bioflocos.

Parametros	AC	BFT	Teste-t	Sig.
Sobrevivência (%)	87,9 $\pm$ 6,9	86,9 $\pm$ 8,0	0,18	ns
Peso médio inicial (g)	5,4 $\pm$ 0,07	5,4 $\pm$ 0,07	-	-
Peso médio final (g)	26,5 $\pm$ 8,5	23,9 $\pm$ 7,3	1,75	ns
Produtividade (kg m^{-3})	7,37 $\pm$ 0,82	6,54 $\pm$ 0,59	1,42	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$)

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1. Qualidade das águas do cultivo de miragaia

As condições físico-químicas e nutricionais das águas utilizadas nos cultivos aquapônicos do presente estudo foram compatíveis com psicultivos em águas claras e em bioflocos (Borges, 2009; Rodrigues et al., 2011; Holanda et al., 2020). O tratamento AC caracterizaram-se por menores teores de nitrato e SST do que o tratamento BFT. O cultivo das plantas foi iniciado em sistemas BFT já em sua fase madura, com altos teores de nitrato e a manutenção de concentrações de NAT e nitrito baixas e não tóxicas para peixes (Rodrigues et al., 2007; Sampaio et al., 2010). Em ambos sistemas, o nitrogênio amoniacal e o nitrito são removidos através do processo de nitrificação, por bactérias nitrificantes que oxidam estes compostos até sua forma menos tóxica, o nitrato. Nos sistemas de recirculação (RAS) o processo de nitrificação ocorre

frequentemente em filtros biológicos (quando do uso de sistemas de recirculação de água – “RAS”) ou em regiões mais oxidadas dos tanques, enquanto no sistema com BFT bactérias nitrificantes se concentram nos bioflocos (Ebeling et al., 2006). Os valores de nitrato nos tanques BFT não devem ter constituído problema para o crescimento da miragaia. Camargo et al. (2005), em sua revisão sobre toxicidade do nitrato, caracterizaram que peixes marinhos mais sensíveis podem apresentar LC50 (concentração letal mediana) de 573 mg N-NO₃ L⁻¹. As concentrações de fosfato em ambos os sistemas (3,14 ± 1,85 mg P-PO₄ L⁻¹) foram menores do que no cultivo de *Sciaenops ocellatus* em águas com bioflocos (Poersch et al., 2021) e não são associadas a toxicidade (Sugiura, 2018).

Os demais parâmetros físico-químicos nas águas dos tanques durante o experimento mantiveram-se dentro dos valores tolerados pela miragaia. A salinidade, mantida em média 10 gL⁻¹, não mostrou ser restritiva para os peixes. Juvenis de miragaia utilizam uma variedade de habitats estuarinos-costeiros (Urteaga e Perrota, 2001; Haimovici et al., 2020), e adultos são comumente encontrados em águas com salinidades variando de 9-26 gL⁻¹ (Odell et al., 2017). A temperatura média da água no experimento ($\approx$ 21 °C) foi abaixo da faixa ótima de crescimento para juvenis de miragaia, que segundo Kuroski et al. (2022) é estimulado com o aumento da temperatura de cultivo de 23 a 29 °C. Entretanto, adultos de miragaia são capturados em seus ambientes naturais em uma ampla faixa de temperaturas (12-33 °C; Odell et al., 2017). Maiores valores de pH e alcalinidade no tratamento em BFT do que em AC é o resultado do manejo específico (adição de cal). Nestes sistemas, níveis de pH e alcalinidade menores que, respectivamente, 7,0 e 100 mg CaCO₃ L⁻¹ podem diminuir o crescimento dos bioflocos (Furtado et al., 2011). Em peixes, níveis de pH acima de 10 ou abaixo de 5 podem levar o animal a óbito por estresses metabólicos (Wurts e Duborow, 1992). Poersch et al. (2021) apresentaram bons resultados para o cultivo de *Sciaenops ocellatus* em 6,24 mgL⁻¹ de oxigênio dissolvido, e valores deste parâmetro também não foram considerados limitantes para presente o cultivo da miragaia.

2.4.2. Crescimento e produção de biomassa pelas halófitas em cultivo AC e BFT.

Os parâmetros físico-químicos observados em ambos sistemas de cultivo permaneceram dentro dos limites das melhores condições de crescimento das duas halófitas (Pascale et al., 2003; Abd-Elkader e Alkharpotly, 2016; Poli et al., 2019; Pinheiro et al., 2020; Doncato e Costa, 2021). Apesar do pH alcalino das águas estar

fora da faixa ideal de hidroponia de cultivares tradicionais, entre 6,5 e 7,0 (Tyson et al., 2004), Doncato e Costa (2023a) mostraram que *A. graveolens* e *S. neei* não apresentam diferenças em seus crescimentos em cultivos com valores de pH variando de 5,0 a 7,5..

As concentrações médias de SST observadas estavam na faixa de valores de águas de sistemas BFT utilizadas em cultivos anteriores de *S. neei* (104 - 445 mg L⁻¹; Poli et al., 2019; Pinheiro, 2020; Doncato e Costa, 2021), que não demonstraram afetar o desenvolvimento desta planta. Não foram encontrados estudos anteriores de cultivo de *A. graveolens* em águas com altos teores de sólidos. O presente experimento é o primeiro a demonstrar a viabilidade do cultivo do *A. graveolens* com águas salinas de sistemas BFT.

Salicornia neei e *A. graveolens* apresentaram melhores crescimentos em águas com bioflocos do que em águas claras. Esta resposta reflete a limitação no crescimento das halófitas em águas com menores teores de macro-nutrientes dos tanques sem bioflocos, bem como caracteriza a tolerância dessas espécies ao material particulado em suspensão nas águas com bioflocos (que colmata sobre as raízes). Para ambas espécies, a altura do caule foi o parâmetro biométrico de maior diferença porcentual entre tratamentos com águas claras e com bioflocos. Estes resultados são compatíveis com o experimento em sala de cultivo de Doncato e Costa (2023a), que demonstraram a preferência das duas espécies pelo nitrato como fonte de nitrogênio (em comparação com o nitrogênio amoniacal), bem como que ambas halófitas aumentam marcadamente seus parâmetros de crescimento vegetativo (i.e., comprimento dos ramos, número de ramos, biomassa de caule e total) em condições nutricionais altamente nitrificantes (10-50 mg N-NO₃ L⁻¹), análogas as encontradas no atual cultivo bioflocos. Por exemplo, a maior média do número de ramos do aspargo marinho no tratamento com BFT (28,71 ramos por planta) foi semelhante ao valor obtido para a mesma espécie por Doncato e Costa (2023a) de 27,50 ramos por planta, em tratamentos com elevados níveis de nitrato e fosfato durante 28 dias de cultivo em laboratório. As plantas de *A. graveolens* cultivadas em bioflocos mostraram valores de altura de caules maiores do que os apresentados por Snainum et al. (2021), em experimento de três meses de fertilização nitrogenada com a mesma variedade de salsão (médias de altura, número de folhas e número de caules por planta, respectivamente, 22,5 cm, 39,2 folhas e 8,9 caules). No entanto, as médias biométricas de *A. graveolens* foram menores, em ambos os tratamentos, quando comparados com Palomino-Arroyo (2021), que avaliou plantas após 63 dias de cultivo hidropônico com salinidade 0 (altura média de 58,4 cm e 15,7

talos por plantas). Ions de Cl^- presentes em meios salinos podem interferir na absorção de NO_3^- – nitrogênio, diminuindo o balanço iônico e a biomassa do salsão (Pardossi et al., 1999). A maior alocação de biomassa para formação de raízes (menor alocação para caules) de *S. neei* e *A. graveolens* em sistemas de águas claras constituiu em plasticidade morfológica capaz de aumentar a captação de nutrientes limitantes, como para *S. neei*, teores de nitrato abaixo de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Doncato e Costa, 2023a). Adicionalmente, a variabilidade nos valores biométricos e de produção de biomassa detectada entre tanques do tratamento BFT, também pode ser associada a diferenças nos teores de nitrato das suas águas, ressaltando a afinidade de ambas espécies por altos teores deste composto nitrogenado.

Nas condições de primavera do presente estudo, a *S. neei* atingiu uma produtividade média de biomassa caulinar por rebrote de $0,64 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ dias}^{-1}$ crescendo em balsas flutuantes com águas do sistema BFT ($0,90 \text{ kg m}^{-2}$ após 42 dias de cultivo), sendo este valor semelhante ao estudo de Silva et al. (2022; $0,5\text{-}0,8 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ dias}^{-1}$) com a mesma espécie em bancadas NFT irrigadas com águas de BFT, mas sob menores teores médios de nitrato e semelhante ortofosfato ($17\text{-}19 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$ e $2,5 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$). Entretanto, a produtividade do experimento foi menor do que para a mesma espécie descrita por Pinheiro et al. (2017; $3,41 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ dias}^{-1}$), também em floconia com águas de cultivos de *Penaeus vannamei* (Boone, 1931), em cultivo de verão com maiores temperaturas do ar ($27 - 43^\circ \text{C}$), porém com menor disponibilidade média de nitrato ($21,4 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$) e maior em fosfato ($5,3 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$). Doncato e Costa (2023a) relacionaram o baixo aporte de fosfato ($0,2 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$) como limitante de crescimento de *S. neei* em altas concentrações de nitrato ($>10 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$). Logo, fatores como temperatura local (Costa e Herrera, 2016a) e a disponibilidade de nutrientes (Doncato e Costa, 2023a) parecem influenciar as produtividades de *S. neei* alcançadas nos estudos citados acima.

A produção de biomassa aérea do salsão em águas com bioflocos em salinidade de 10 g L^{-1} foi de $0,23 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ dias}^{-1}$ ($0,44 \text{ kg m}^{-2}$ após 56 dias de cultivo). Este valor é cerca de 12-15% da produção hidropônica (em balsas flutuantes) da mesma espécie com águas doces por Abd-Elkaber e Alkharpotly (2016), com maiores teores de nitrato (águas com 90 e $180 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$ que produziram, respectivamente, $1,51$ e $1,89 \text{ kg m}^{-2} 30 \text{ dias}^{-1}$ de caules). *Apium graveolens* é uma espécie com crescimento rápido na presença de nitrogenados, em especial nitrato (Doncato e Costa, 2023a), e demonstra pouca perda de produtividade quando submetido a salinidades de até $8,5\text{-}10 \text{ dS m}^{-1}$ ($\approx$

5,7-6,7 gL⁻¹)(Pardossi et al., 1999; Pascale et al., 2003). Porém, em salinidades mais elevadas como 300 µmol (≈ 17,5 g NaCl L⁻¹), seu crescimento é mais lento e associado a menores níveis de assimilação fotossintética de CO₂ (Everard, 1994).

Estudos comparativos entre aquaponia tradicional e floponia são escassos na literatura e concentrados em cultivos com águas doce. Da Rocha et al. (2017) não encontraram diferença significativa na produção da alface (*Lactuca sativa*) entre tratamentos de salinidade 0 com e sem BFT do cultivo de jundiá. Contrastantemente, Pinho et al. (2017) avaliaram a produção aquapônica de três variedades da alface (var. vermelha, manteiga e crespa) com águas doce do cultivo de tilápia do Nilo em BFT (usada após clarificação) e em águas claras. Após um ciclo de 23 dias, estes autores encontraram para todas as variedades maiores produtividades por área de tanque (27 a 118%) nas águas com BFT. Mais recentemente, Pinho et al. (2021) observaram uma produção alface manteiga com águas do cultivo de tilápia do Nilo cerca de 13% maior em floponia do que em águas claras, mas apenas em seu primeiro ciclo de 23 dias de cultivo da alface. No segundo ciclo de crescimento das alfaces, já em fase madura de desenvolvimento dos bioflocos, a produção de alface foi menor em floponia, e os autores associaram este resultado ao acúmulo de material particulado fino (sólidos sedimentáveis) nas raízes e tubulações das bancadas de cultivo. Apesar dos resultados variáveis no desenvolvimento das plantas, os estudos acima enfatizaram a maior carga de nutrientes nas águas e também encontraram algumas mudanças na qualidade da biomassa das plantas em sistemas BFT. Os resultados dos presentes cultivos aquapônico salino de *A. graveolens* e *S. neei* caracterizaram a adaptabilidade destas halófitas as águas de sistemas BFT.

2.4.3. Qualidade da biomassa das halófitas

Os teores de umidade, lipídeos e proteínas nos caules das halófitas não mostraram diferenças em relação ao cultivo em águas claras e BFT. Os altos percentuais de umidade (suculência) nos caules de *A. graveolens* e *S. neei* (86-88%) são comumente encontrados nestas plantas e constituem uma característica de interesse agrônomo (Pardossi et al., 1998; Riquelme et al., 2016; Souza et al., 2018; Narváez-Aldáz e Ordoñez-Araque, 2019). A suculência do salsão menor no tratamento em águas claras pode indicar uma maior lignificação dos caules em meio salino com menores concentrações de macronutrientes (Souza et al., 2018). Os teores de lipídeos, cinzas e proteínas totais dos caules de *A. graveolens* cultivadas em salinidade 10 g L⁻¹ foram

semelhantes aos citados por Shad et al. (2011), para plantas coletadas em seu habitat salino natural no nordeste do Paquistão. Entretanto, os valores do presente cultivo ficaram acima das faixas de valores citadas para espécimes consumidos na América do Norte, segundo o U.S. Department of Agriculture (2019), respectivamente, de lipídeos= 0,08-0,26% MF - massa fresca, cinzas= 0,6-1,04% MF e proteínas= 0,19-0,62% MF. No presente experimento, os altos valores de cinzas no salsão podem ser explicados pelo aumento dos teores de íons Na^+ e Cl^- em suas células em águas salinas segundo De Pascale et al., 2003, os teores teciduais de ambos íons dobram com um aumento da salinidade de cultivo de 4,4 a 15,7 $\text{dS m}^{-1} \approx 3,0$ a 10,6 g L^{-1} . Os teores teciduais de proteína foram maiores nos tanques com BFT, submetidos a elevadas concentrações de nitrato, que é rapidamente assimilado por *A. graveolens* e acumulado das células dos caules de forma diretamente relacionada a concentração dissolvida na água de irrigação (Abd-Elkader e Alkharpotly, 2016). Uma vez que a determinação do nitrogênio total pelo método de Kjeldahl não discrimina o nitrogênio originado do nitrato, boa parte do nitrogênio quantificado no salsão e considerado como proteína bruta foi provavelmente nitrato acumulado em seu caule, particularmente nos tanques com BFT. Futuros estudos poderão esclarecer a composição do nitrogênio tecidual desta espécie.

Os teores médios observados para *S. neei* de lipídios (0,30 a 0,35% MF $\approx 2,44$ e 2,91% massa seca - MS) e proteína (0,71% MF $\approx 5,43\%$ MS) são intermediários em relação a estudos anteriores (Bertin et al., 2014; Costa et al., 2014; Riquelme et al. 2016; Pinheiro et al., 2020). Os teores de cinzas dos caules das plantas foram particularmente altos nos tanques com BFT (35,4% MS), sendo, no entanto, semelhantes aos citados para *S. neei* por Riquelme et al. (2016) no Chile (35,7% MS) e Bertin et al. (2014) em Santa Catarina (24,9-31,4% MS). Outras espécies de *Salicornia* podem até apresentarem valores mais elevados de cinzas (43-44% MS) como *S. fruticosa* e *S. ramosissima* (Custódio et al., 2021). Altos teores de cinzas em *S. neei* são particularmente associados ao acúmulo íons Na^+ em seus tecidos (Bertin et al., 2014; Alves et al., 2020a), como forma de adaptação para sobreviver em ambientes com altas salinidades.

As cinzas presentes em *S. neei* apresentaram altos teores de Mg e K, sendo este último elemento em maior quantidade nos caules do tratamento AC e BFT. Os teores K, Mg e Ca foram semelhantes aos citados para esta mesma variedade de *S. neei* (BTH2) cultivada no RS (Doncato e Costa 2023b), entretanto estes valores são maiores do que os encontrados por Bertin et al. (2016) para plantas selvagens de *S. neei* em SC

(respectivamente, 19,0, 14,0 e 4,0 mg g⁻¹). Entretanto, estes últimos autores também encontraram diferenças nos teores de K entre caules de plantas de marismas e de cultivo com irrigação de água de cultivo de camarão. Plantas de *S. neei* cultivadas no tratamento em águas claras também apresentaram teores caulinares de P maiores (1,7 vezes) do que as dos tanques com BFT. A maior alcalinidade no tratamento BFT (duas vezes maior do que no tratamento em águas claras) devido a adição periódica de cal hidratada, e o pH mais básico, possivelmente reduziram a disponibilidade do fósforo para as plantas neste meio (que se pode ligar ao cálcio; Cerozi e Fitzsimmons, 2016). Adicionalmente, Javid et al. (2012) encontraram para *Brassica juncea* menores valores na incorporação de P e K com o aumento de alcalinidade e salinidade de cultivo. Ventura et al. (2011) também enfatizaram que diferenças da composição mineral de espécies de *Salicornia* ocorrem de acordo com a disponibilidade dos íons na água ou solo de cultivo. Altos teores dos elementos citados acima também são observados em outras espécies do gênero *Salicornia* encontradas em Portugal (Custódio et al., 2021).

2.4.4. Desempenho da miragaia em águas claras e com o uso de sistema BFT.

Não foram observadas diferenças na sobrevivência e no crescimento da *P. courbina* entre os tratamentos AC e BFT. Após 18 semanas com uma temperatura média da água de 21 °C, o crescimento dos peixes foi de 18,5-21,1 g ($\approx$ 1,0 - 1,1 g semana⁻¹), considerando as diferenças entre os pesos médios finais e iniciais de cada tratamento. Este crescimento é semelhante ao encontrado por Kuroski (2020), cerca de 0,9 g semana⁻¹ para juvenis de miragaia em cultivo com águas de recirculação e temperatura média de 23 °C, porém menor que o valor encontrado por Rossberg e Straw (1980) de 6,93 g semana⁻¹ em monocultivo no verão de alevinos de *Pogonias courbina*. O resultado do presente estudo demonstra a capacidade de *P. courbina* crescer em águas com altos teores de SST de sistemas BFT. A concentração média de SST em nosso sistema BFT foi semelhante ao cultivo do peixe estuarino *Mugil Liza* (142,1 mg L⁻¹; Holanda et al., 2020), porém inferior ao de *Oreochromis niloticus* em águas doces (512,7 mg L⁻¹; Boitrago, 2015). Entretanto, nenhum benefício da presença dos bioflocos foi observado para a miragaia, contrariamente a peixes herbívoros e onívoros, como *O. Niloticus*, que podem utilizar os bioflocos como fonte nutritiva complementar, permitindo o menor uso de ração (Azim e Little, 2008; Pinho et al., 2021). Adicionalmente, o desenvolvimento da miragaia no presente estudo provavelmente foi limitado pelas baixas temperaturas durante o cultivo, visto que um menor crescimento e

consequente menor consumo de ração por *P. courbina* e *S. ocellatus* foram observados em temperaturas abaixo de 29 °C (Fontaine et al., 2007; Kuroski, 2020).

2.5. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a viabilidade de produção aquapônica do aspargo marinho *S. neei* e do salsão *A. graveolens* em sistema acoplado com a miragaia *P. courbina*. Maiores produtividades das halófitas foram alcançadas em sistema BFT do que em água clara, associadas a maior disponibilidade de nitrato e fosfato. O valor do salsão (var. tall utah) no mercado brasileiro pode chegar a 18 R\$ o Kilo. A realidade do crescimento do salsão em águas salinas 10 gL⁻¹ se situa um pouco distante do tamanho e velocidade dos cultivos em água doce, mas ainda é uma opção para o aproveitamento do espaço e a produção de um alimento de qualidade e alta demanda. Enquanto o aspargo marinho tem um crescimento superior a outras hortaliças em sistemas salinos e alto valor no mercado gourmet. A miragaia apresentou desenvolvimento e produtividade semelhante entre sistemas testados, demonstrando aplicabilidade da produção em conjunto à aquaponia de salsão e aspargo marinho em águas claras e em bioflocos.

CAPÍTULO 3

Cultivo de *Salicornia neei* e *Apium graveolens* em canteiros irrigados com águas salinas da carcinicultura extensiva no sul do Brasil: avaliação da densidade de plantio e condições físico-químicas em planossolo local.

3.1. INTRODUÇÃO

O cultivo em solos salinos é um dos grandes desafios da agricultura mundial frente ao crescimento populacional, a perda de solos cultiváveis e às mudanças climáticas. O aumento do nível relativo do mar, a intrusão salina em aquíferos costeiros, a má utilização de fertilizantes químicos e secas prolongadas impulsionam o aumento das taxas de degradação dos solos por salinização (Dasgupta et al., 2015; Mukhopadhyay et al., 2021). Globalmente, estima-se em cerca de 17 milhões de km² a extensão de terras afetadas pela salinidade (condutividade elétrica = CE > 4 dS m⁻¹; Negacz et al., 2022), o que corresponde a mais de 3% do solo superficial (0 - 30 cm) e 6% do subsolo (30-100 cm) da Terra (FAO, 2021). A presença de sais no solo pode ter duas fontes, primária - natural ou secundária - antrópica (Ruto et al., 2018). A salinização primária é decorrente da acumulação de íons salinos na coluna sedimentar ou água subterrânea, por intrusão salina da água do mar em aquíferos e a percolação de sais pela capilaridade ou a composição química das rochas (Ruto et al., 2018; Negacz et al., 2022). Devido às mudanças climáticas, várias regiões do planeta estão passando a ter uma menor regularidade de chuvas e longos períodos de seca, que contribuem para a evaporação da água e acúmulo de sais na camada superficial do solo (Jones et al., 2012). A perda para a salinização de áreas tradicionalmente agricultáveis eleva a insegurança alimentar, uma vez que são raras as plantas que desenvolveram mecanismos capazes de completar seu ciclo de vida em meios salino. Segundo Flowers (2014) e Cheeseman (2022) apenas cerca de 6 mil espécies de plantas vasculares (menos de 0,5% das angiospermas) podem ser caracterizadas dentro deste grupo de plantas e denominadas “halófitas”. Muitas plantas halófitas podem contribuir para a alimentação animal-humana, tornando-se uma alternativa à produção agrícola em solos salinos e/ou irrigados com águas salgadas ou salobras, particularmente regiões costeiras,

áridas ou semiáridas, onde a água doce é pouco acessível (Rozema e Schat, 2013; Costa e Herrera, 2016).

O desenvolvimento de novas cultivares a partir de halófitas passa não só pelo reconhecimento da existência de diferentes graus de tolerância aos estresses osmótico, iônico e oxidativo da salinidade entre as espécies (Rozema e Schat, 2013; Souza et al., 2018), mas também sobre compreender a intensidade das interações competitivas (intra-e/ou interespecífica) entre as plantas em solos salinos. Em populações naturais de halófitas a competição associada a densidade local está entre os principais fatores bióticos a influenciar o crescimento de plantas (Elison, 1987; Bruno et al., 2017). Semelhantemente, em cultivos comerciais (frequentemente monoespecíficos), a intensidade da competição intraespecífica está relacionada a espécie ou cultivar e a densidade de plantio (Postma et al., 2020). Foxx e Fort (2019) sugerem que, em ambientes de estresse hídrico, a competição é maior ao nível das raízes, enquanto em ambiente com plenos recursos e sem restrições fisiológicas a competição aérea se faz proeminente. Adicionalmente, características edáficas, como o pH, os teores de argilas e de matéria orgânica, são determinantes da retenção local de íons e consequentemente da fertilidade dos solos (Streck et al., 2018). Logo, interações competitivas entre plantas em ambientes salinizados são dependentes do tipo de solo (e.g., fertilidade) e a definição da densidade de plantio de halófitas deve considerar este fator. Entretanto, a presença de vizinhos pode também promover redução do estresse hídrico em condições salinas, através de um efeito de autosombreamento com redução da evapotranspiração pela insolação (Bruno et al., 2017). Este mecanismo é uma forma de “facilitação”, interação biológica onde apenas uma espécie é beneficiada e a outra não é influenciada, notada particularmente em situações de estresse (Dohn et al., 2012, Maestre et al., 2009). As intensidades das diferentes interações biológicas negativas e positivas entre as plantas sob e sobre o solo variam, espacial e temporal, conforme os ambientes colonizados são ricos ou pobres nutricionalmente (Wang et al. 2021) e/ou estão sujeitos a diferentes graus de estresse fisiológico (Bruno et al., 2017).

Entre as diversas espécies de halófitas, as melhores opções para cultivos comerciais são aquelas tradicionalmente utilizada ou com um valor de mercado (Koyro et al., 2006). Ademais, a demanda por alimentos funcionais vem crescendo nos últimos anos (Baker, 2022), principalmente vegetais com propriedades fitoterápicas, associando segurança alimentar com qualidade de vida e saúde (World Health Organization, 2011; Ares et al., 2014). Espécies do gênero *Salicornia* (Amaranthaceae) são tradicionalmente

consumidas na América do Norte, Europa e Ásia, como saladas, conservas ou vegetais condimentados, tempero de carnes assadas e cozidas ou biosal, além de componentes da culinária gourmet (Mudie et al., 2005; Antunes et al., 2021; Ozturk, et al., 2018). Adicionalmente, devido a composição rica em minerais, vitaminas e outros compostos bioativos, plantas de *Salicornia* apresentam grande potencial de mercado na nutraceutica, como alternativa de alimento saudável (Doncato e Costa, 2018; Ekanayake et al., 2023). No Brasil, experimentos e cultivos em escala comercial da espécie nativa *Salicornia neei* Lag. [sin. *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso e M.B. Crespo, *Salicornia gaudichaudiana* Moq.] foram realizados em áreas continentais e costeiras sobre diferentes condições climáticas (trópicos e clima temperado quente). *Salicornia neei* vem sendo cultivada desde 2005, obtendo safras de 8,2 a 59 toneladas ha⁻¹ sob diferentes condições de salinidade, volume de irrigação e fertilização (Costa, 2006; Greis, 2009; Izeppi, 2011; Costa e Herrera, 2016; Alves et al., 2020b; Doncato e Costa 2023b). Outra halófita comercial é o salsão *Apium graveolens* L. (Apiaceae). Esta espécie de distribuição mundial é amplamente comercializada, rica em vitamina C, potássio, cálcio e magnésio, além de ser utilizado pelas propriedades diuréticas, estimulantes e sedativas (Sowbhagya, 2014). Pode ser cultivada em solos e sistemas hidropônicos com salinidades de até 10,6 g L⁻¹ ($\approx$ 15,7 dS m⁻¹; Pardossi et al., 1999; Pascale et al., 2003).

Além de fonte de nutrientes e outros compostos, o solo provém umidade e habitat de macro e microrganismos, que podem afetar o desenvolvimento das plantas (Streck et al., 2018; Tshikhudo et al., 2023; Teles et al., 2024). Cada tipo de solo possui qualidades e limitações para o crescimento das plantas, como tempo de drenagem, pH e retenção de íons (Sobral et al., 2015). Por exemplo, a taxa de percolação da água é geralmente maior nos solos arenosos quando comparados aos solos argilosos. Dois tipos comuns de solos encontrados na região Sul do Brasil são neossolos e os planossolos (Streck et al., 2018). Os primeiros representam solos muito recentes, predominantemente arenosos e pobres em nutrientes. Já os planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, ricos em argilas, encontrados em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado. No RS, a maioria dos Planossolos são Háplicos Eutróficos, que apresentam alta saturação por bases ($\geq$ 50%), e alta saturação por sódio (“solódicos”) em subsuperfície perto de estuários e da costa. Cultivos de campo de *S. neei* já foram realizados em neossolos e solos podzóicos (Costa e Herrera, 2016; Alves et al., 2020b). *A. graveolens* já foi cultivado em solos arenolodosos e irrigação com

água do mar diluída em diferentes concentrações (Pascale et al., 2003). Não existe informações disponíveis do desenvolvimento destas duas espécies em planossolos solódicos. Este estudo avaliou o crescimento, a produção e a qualidade nutricional das biomassas do aspargo marinho e do salsão cultivados em diferentes densidades em canteiros com planossolo irrigados com águas salinas da carcinicultura extensiva.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Local de estudo, condições edáficas e fatores físico-químicos monitorados

O estudo foi realizado na Granja Barroco, localizada na Ilha do Leonídeo, distrito da cidade de Rio Grande, RS (32,0512° S; 52,2399° W), durante o verão de 2022/2023 (07/12/2022 a 08/02/2023) e plantas de *S. neei* em canteiros irrigados com águas salinas do cultivo extensivo do camarão branco do Pacífico *P. vannamei* (**Figura 3.1**). Pós-larvas crescidos em berçários estocados na Granja Barroco foram originados de uma Larvicultura comercial do estado de Santa Catarina, e juvenis estocados em uma densidade de 7 indivíduos por m², em um viveiro de 4,6 hectares, e alimentados duas vezes ao dia com ração comercial e farelo de arroz a cada dois dias.

Vinte canteiros de 1 m² foram escavados no solo, separados por sulcos de 30 cm de largura, em um terreno inclinado (6,8 m x 5,5 m; 37,4 m²) em direção a borda do talude de um viveiro de cultivo de camarão (**Figura 3.1 A-C**). A água do viveiro era elevada para a parte superior do terreno irrigado, através de uma bomba submersa posicionada dentro do viveiro (Modelo Kärcher SP 11 000 Dirt) e mangueiras de 3,5 cm de diâmetro. Os canteiros eram irrigados duas vezes ao dia, por 15 minutos cada rega, com uma vazão de 14 L minuto⁻¹ (420 L dia⁻¹). Um ladrão na parte inferior do canteiro permitia que o excesso de água corresse para um canal marginal ao viveiro de camarão. A parte inferior do canteiro permanecia úmida entre as regas, enquanto na parte superior o solo tendia a ficar drenado superficialmente. O terreno irrigado foi recoberto com um sombrite, com atenuação de 53% da incidência solar. O solo do canteiro foi analisado no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) e possuía um pH ácido (5,2-5,4), baixos teores de matéria orgânica (2,35-2,62%) e altos teores de sódio (10,4-12,0 g dm⁻³), aspectos característicos dos solos frequentemente saturados das áreas marginais no estuário da Lagoa dos Patos (Mirlean e Costa, 2017). A composição de macronutrientes (mg dm⁻³) no solo foi de: Ca= 841-1022; Mg= 1094-1167; P= 64-93; K= 426-756; N-NO₃= 1,54 – 1,37; N-NAT= 2,02 – 2,85. Os teores de

micronutrientes (mg dm^{-3}) no solo foram de: Fe= 1400-2300; Mn= 22-27; Zn= 6,9-8,2; e Cu= 0,8-1,0. O solo local pode ser considerado um planossolo háplico eutrófico solódico (Streck et al. 2018), arenolodoso (20-22% de argila) e rico em Fe, P, K, Ca e Mg (sensu Sobral et al., 2015). Adicionalmente, o solo do canteiro apresentou altos valores de saturação por bases (94-95%) e capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva ($60,4\text{-}67,9 \text{ cmolc dm}^{-3}$)(sensu Sobral et al., 2015), bem como CTC estimada (pH 7; $64,2\text{-}71,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$) muito semelhante a CTC efetiva, indicando que os cátions avaliados estão efetivamente no complexo de troca.

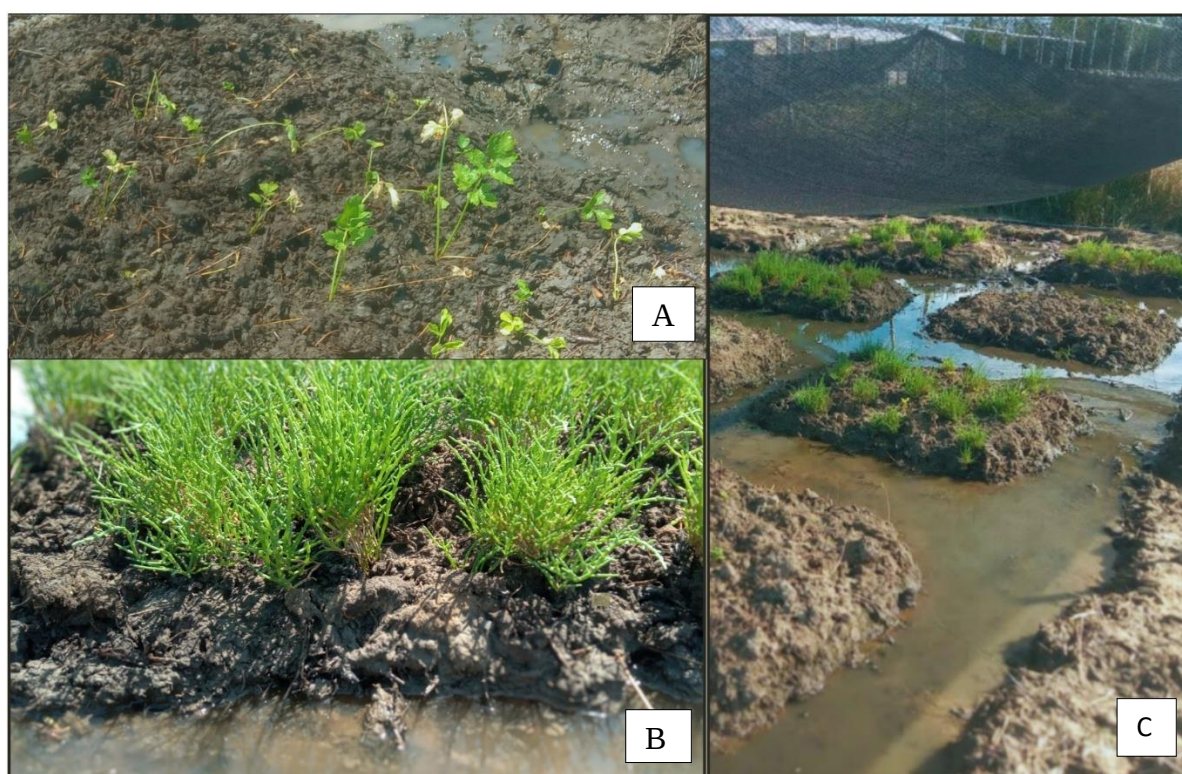


Figura 3.1. Transplante de mudas de salsão e aspargo marinho (A). Crescimento final (B) de canteiros do aspargo marinho *Salicornia neei* irrigados com águas salinas de um viveiro do camarão branco do Pacífico localizado em Rio Grande (RS) (C).

Dados diários de temperatura do ar, precipitação e radiação solar foram obtidos da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Campus da Universidade Federal do Rio Grande - FURG ($32^{\circ}04'43''\text{S}$ e $52^{\circ}10'03''\text{W}$), a aproximadamente 7,6 km do terreno de cultivo. A água de irrigação foi coletada semanalmente em frascos de vidro e em laboratório foram estimados os valores de salinidade e pH (multiparâmetro Hanna 98). Os teores de NAT, nitrito e fosfato

foram determinados através de espectrofotometria (Baumgarten et al., 2010). Os teores de nitrato foram estimados pelo método descrito por Garcia-Robledo et al. (2014). Também semanalmente, em cada piso do canteiro, foram coletadas três amostras superficiais de solo (0-10 cm) para estimativa da umidade do solo (após secagem em estufa 60 °C por 48 horas) e da condutividade elétrica (CE) a partir da “pasta saturada”. Para esta última estimativa, 100 g de solo seco foram misturados com água destilada até saturação. Após uma hora de embebição, a pasta foi filtrada e a condutividade elétrica da água lida em um condutivímetro Hanna HI9835.

3.2.2. Desenho experimental e avaliação do crescimento das plantas

Mudas de *S. neei* (progênie BTH2; Costa et al., 2019) foram obtidas a partir da propagação vegetativa de plantas mantidas no germoplasma do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH-FURG), utilizando a técnica de propagação vegetativa por estaquia (Costa e Herrera, 2016). Plantas de *A. graveolens* (variedade Utah) foram propagadas por sementes adquiridas de fornecedor comercial (marca Feltrin®) e germinadas em incubadora. Dez canteiros foram escolhidos aleatoriamente para cada espécie e mudas das plantas foram transplantadas em duas densidades diferentes, sendo quatro canteiros com densidade de 25 plantas m⁻² (“alta”) e seis canteiros com densidade de 13 plantas m⁻² (“baixa”). Devido à declividade do terreno, os canteiros foram divididos em dois blocos, metade na parte superior bem drenada e a outra metade na parte inferior que se mantinha úmida entre regas. Consequentemente, o crescimento de ambas espécies foi avaliado em um experimento fatorial de campo com duas densidades de cultivo e dois níveis topográficos do terreno, em canteiros irrigados com águas salinas do cultivo de camarão.

As mudas de *A. graveolens* apresentavam médias de altura dos caules de 11,9 ± 0,87 cm e um número de folhas de 7,28 ± 0,79 por plantas. A partir da primeira semana após o plantio ocorreu alta mortalidade de plantas de *A. graveolens*, que demonstraram amarelamento e queda de suas folhas. Na terceira semana de cultivo todas as plantas de *A. graveolens* haviam morrido, e consequentemente, esta espécie foi retirada da análise.

As mudas de *S. neei* com média de altura de 15 cm foram plantadas. Esta espécie é perene e capaz de rebrote após poda. Após um período inicial de “estabelecimento” de 43 dias do plantio, foi efetuada uma poda de nivelamento dos caules das plantas a 5 cm da superfície do solo. Em média, os caules das plantas nesta data possuíam 58,37 ± 2,07 g de peso fresco e 61,64 ± 1,81 ramos por caule, sendo que 22,65 ± 0,91 ramos por

caule possuíam comprimento > 10 cm (tamanho de interesse comercial). Vinte oito dias (4 semanas) após a poda de nivelamento, as plantas foram cortadas novamente na mesma altura e o desenvolvimento do rebrote avaliado.

Cada planta (rebrote) coletada foi armazenada separadamente em um saco plástico transparente e levada ao laboratório. Foram analisados a altura do maior caule com uma régua milimétrica, o número total de ramificações do caule e o número de ramificações > 10 cm de cada planta. O peso fresco (úmido) de cada indivíduo foi estimado em uma balança de precisão.

3.2.3. Composição centesimal das biomassas de *S. neei*

A composição centesimal da biomassa de *S. neei* (cinco amostras) foi analisada a partir da matéria seca de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959) para lipídios, e da AOAC (1995) para determinação de umidade, cinzas e proteína bruta. O fator de conversão de nitrogênio para proteína bruta utilizado para *S. neei* foi de 4,06 (M.M.Souza Com.Pes.).

As cinzas representaram uma parte muito significativa da massa seca das plantas de *S. neei* (média global = 33,66%; veja seção Resultados), sendo realizadas análises da composição mineral dos caules das plantas. Cinco amostras de caules de cada densidade e posição no terreno foram coletadas, secas em estufa (60 °C por 48 horas) e moídas em almofariz com pistilo. Estas amostras foram então submetidas a digestão nítrico-perclórica e sulfúrica (para análise de N), conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), em bloco digestor da TECNAL®. Nos extratos obtidos das digestões foram determinados o nitrogênio (N) por destilação e titulação (Tedesco et al., 1995), fósforo (P) com o espectrofotômetro ultravioleta visível Varian® 634, potássio (K) por fotometria de chama Digimed® NK-2000, bem como o cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer® 403. Todas as análises de minerais foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), os laudos foram certificados com conceito A pelo Controle de Qualidade do Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), pertencente a Universidade de São Paulo (USP), Campus Piracicaba.

3.2.4. Análise de dados

Todos dados de parâmetros do solo, crescimento e produtividade das plantas foram testados quanto aos princípios de normalidade e homocedasticidade, sendo transformados quando necessário. Dados biométricos de peso fresco dos talos, número total de ramos dos talos e número de ramos talos >10 cm da *S. neei* foram transformados através da função $\sqrt{x}$.

Os resultados biométricos, produção de biomassas dos caules, composição centesimal (lipídios, cinzas, fibras e proteína bruta) e mineral dos caules de *S. neei* (N, P, K, Ca e Mg) foram comparados entre as densidades de plantio e as posições no terreno através de Análises de Variância (ANOVA) bifatorial (Zar 2010). Diferenças significativas ($p < 0,05$) entre médias foram avaliadas através do teste a posteriori de Tukey.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Condições ambientais e qualidade da água e do solo

Nas três primeiras semanas após o plantio, quando ocorreu uma intensa mortalidade das plantas de *A. graveolens*, a máxima diária da temperatura do ar oscilou entre 28,5 e 30,5 °C e precipitou apenas 2 mm de chuvas. A temperatura média do ar foi de 24,6 °C no período de rebrote da *S. neei*, valor 1,8 °C maior do que durante o estabelecimento desta espécie (Tabela 3.1). A radiação solar incidente diária foi em média 25.803 KJ m². Durante o período do estudo, a quantidade total de chuvas na cidade de Rio Grande foi de 64 mm, sendo que 48 mm durante as 4 semanas de rebrote. A salinidade média da água do viveiro durante o rebrote foi de 21,9 ± 0,8 g L⁻¹. Os teores médios de nitrogenados na água do viveiro foram abaixo de 0,2 mg N L⁻¹ e o de fosfato de 0,21-0,22 mg L⁻¹ (Tabela 3.1).

Os canteiros na parte inferior do terreno irrigado apresentaram teores de umidade do solo (24-29%) significativamente maiores do que da parte superior (17-18%) durante o experimento (Tabela 3.2). Não ocorreram diferenças significativas da condutividade elétrica média do solo entre pisos no período de rebrote, que variou entre 16,8-21,3 dS m⁻¹ ≈ 11,3-14,3 g L⁻¹.

3.3.2. Desenvolvimento e produtividade de *S. neei*.

Quatro semanas após a poda de nivelamento de *S. neei*, a biomassa fresca dos caules individuais atingiu um valor médio global de 48,08 ± 2,21 g, assim como 42,34 ±

1,96 ramos por planta, sendo que em média $20,7 \pm 1,31$ ramos possuíam comprimento > 10 cm. Plantas dos canteiros com densidade alta de plantio demonstraram valores médios 30-50% significativamente menores de biomassa caulinar e número de ramificações com comprimentos >10 cm três vezes menor do que dos canteiros com baixa densidade (Tabela 3.3). Adicionalmente, as plantas nos canteiros na parte superior do terreno apresentaram um maior número total de ramos quando em baixa densidade de plantio do que em alta densidade ($p < 0,05$; teste de Tukey). A produtividade por área foi em média de $851,1 \pm 74,47 \text{ g m}^{-2}$ em 28 dias ($911,8 \text{ g m}^{-2}$ em 30 dias), não havendo diferenças significativas entre posições topográficas ou densidade de plantio.

Tabela 3.1. Médias ($\pm$ erro-padrão) dos parâmetros ambientais e da qualidade da água de irrigação nos períodos de estabelecimento (Est) (25/11/22-10/01/23) e rebrote (11/01/23-08/02/23) das plantas de *S. neei*.

Parâmetros meteorológicos	Est	Rebrote
Temperatura do ar	$22,81 \pm 10,86$	$24,60 \pm 2,88$
Radiação ($\text{KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	$27545,64 \pm 601,21$	$25803,20 \pm 724,25$
Precipitação (mm)	16	48
Qualidade da água	Est	Rebrote
NaCl (g L^{-1})	$18,29 \pm 0,76$	$21,89 \pm 0,78$
pH	$5,76 \pm 0,01$	$5,80 \pm 0,03$
N-NO ₃ (mg L^{-1})	$0,02 \pm 0,00$	$0,03 \pm 0,01$
P-PO ₄ (mg L^{-1})	$0,21 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,02$
N-NO ₂ (mg L^{-1})	$0,05 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,00$
N-NAT (mg L^{-1})	$0,13 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,06$

Tabela 3.2. Médias ($\pm$ erro-padrão) dos parâmetros do solo nos períodos de estabelecimento (Est) (25/11/22-10/01/23) e rebrote (11/01/23-08/02/23) das plantas de *S. neei*.

Período	Localização				ANOVA					
	Superior		Inferior		Localização		Período		L x P	
	Est	Rebrote	Est	Rebrote	F	p	F	p	F	p
Condutividade (dS m^{-1})	$13,51 \pm 1,72 \text{ a}$	$16,78 \pm 1,96 \text{ ab}$	$14,89 \pm 1,55 \text{ ab}$	$21,33 \pm 1,69 \text{ b}$	2,72	ns	7,07	*	4,05	ns
Umidade (%)	$17,67 \pm 1,02 \text{ b}$	$17,74 \pm 1,5 \text{ b}$	$29,07 \pm 2,14 \text{ a}$	$24,27 \pm 0,70 \text{ a}$	38,96	***	1,36	ns	2,84	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$; *** = $p < 0,001$.

Tabela 3.3. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises quantitativas e biomassa (g) de caules de *S. neei*, após 4 semanas de rebrote em campos com irrigação salina com águas de um viveiro de carcinocultura em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey.

	Posição				ANOVA					
	Superior		Inferior		Posição (P)		Densidade		P x D	
Densidade/ Biometria	Alta	Baixa	Alta	Baixa	F	p	F	p	F	p
Peso úmido dos caules (\$)	43,82 $\pm$ 2,90 ab	62,67 $\pm$ 6,17 a	30,84 $\pm$ 2,27 b	61,44 $\pm$ 4,89 a	1,28	ns	31,14	***	3,73	ns
Nº de ramos (\$)	37,58 $\pm$ 2,71 b	61,73 $\pm$ 5,37 a	42,44 $\pm$ 2,96 b	43,82 $\pm$ 3,12 b	1,87	ns	11,81	***	4,75	**
Nº de ramos > 10 cm (\$)	12,70 $\pm$ 1,36 b	27,28 $\pm$ 3,05 a	11,02 $\pm$ 1,09 b	22,74 $\pm$ 2,42 a	0,56	ns	40,16	***	0,56	ns
Produtividade dos caules (g m⁻² 28 dias⁻¹)	1095,50 $\pm$ 147,7	793,8 $\pm$ 174,5	771,0 $\pm$ 106,3	798,7 $\pm$ 128,9	0,70	ns	0,77	ns	0,90	ns
ns – Não significativo (p> 0,05); * = p< 0,05; **=< 0,01; *** = p< 0,001; \$ = transformação por Raiz Quadrada(x)										

3.3.3. Composição bromatológica e macromelementos

Um maior teor de cinzas em *S. neei* ($46,43 \pm 0,19$ % MS) foi observado na parte inferior do terreno e em baixa densidade de plantio, que foi significativamente diferente das plantas sob mesma densidade na parte superior (Tabela 3.4). Os caules em menor densidade de plantio apresentaram o maior teor médio de proteína bruta. Os teores de lipídios e fibras não apresentaram diferenças significativas entre densidades de plantio ou posição topográfica.

Entre os componentes minerais quantificados, o Mg foi o macromelemento com maior concentração nos talos da *S. neei*, cujos teores médios de $40,09$ - $40,44$ g kg⁻¹ na parte superior do terreno foram significativamente maiores do que na parte inferior (Tabela 3.5). O teor tecidual de K nos canteiros com alta densidade na parte superior do terreno foi significativamente maior do que os demais níveis, não ocorrendo distinção significativa dos valores médios de N, P e Ca entre os níveis dos tratamentos.

Tabela 3.4. Médias percentuais ($\pm$ erro-padrão) das análises bromatológicas de caules de *S. neei*, em base seca (PS) e úmida (PU), após quatro (4) semanas de rebrote em campos com irrigação salina com águas de um viveiro de carcinocultura em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados para umidade e peso e matéria seca e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey.

Densidade	Posição								ANOVA					
	Superior				Inferior				D		P		D x P	
	Alta		Baixa		Alta		Baixa		F	p	F	p	F	p
	PU	PS	PU	PS	PU	PS	PU	PS						
Proteína Bruta	1,54	9,89 $\pm$ 0,11ab	1,56	9,99 $\pm$ 0,09 a	1,41	9,27 $\pm$ 0,18 b	1,52	9,99 $\pm$ 0,16 a	8,06	*	6,19	*	3,72	*
Lipídios	0,55	3,52 $\pm$ 1,35	0,42	2,7 $\pm$ 0,18	45,16	2,95 $\pm$ 0,29	0,46	3,04 $\pm$ 0,12	0,04	ns	0,44	ns	0,52	ns
Cinzas	6,87	43,88 $\pm$ 0,24 ab	6,61	42,29 $\pm$ 1,12 b	6,82	44,6 $\pm$ 0,98 ab	7,1	46,43 $\pm$ 0,19 a	0,01	ns	8,84	**	2,19	ns
Fibra	0,35	2,25 $\pm$ 0,22	0,56	3,62 $\pm$ 1,12	0,72	4,71 $\pm$ 1,24	0,14	0,95 $\pm$ 0,15	0,96	ns	0,01	ns	4,49	*
Umidade	84,33 $\pm$ 1,31	-	84,36 $\pm$ 1,56	-	84,69 $\pm$ 2,18	-	85,26 $\pm$ 1,7	-	0,02	ns	0,17	ns	0,07	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$.

Tabela 3.5. Médias ($\pm$ erro-padrão) das análises de macronutrientes em g kg⁻¹ de caules de *S. neei*, em base seca, após quatro (4) semanas de rebrote em campo irrigado com águas salinas de um viveiro de carcinocultura, em diferentes posições topográficas e densidades de plantio. Resultados de ANOVAs são apresentados e diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam médias significativamente diferentes conforme o teste post-hoc de Tukey.

Densidade	Posição				ANOVA					
	Superior		Inferior		D		P		D x P	
	Alta	Baixa	Alta	Baixa	F	sig.	F	sig.	F	sig.
N	18,81 $\pm$ 1,85	20,20 $\pm$ 0,33	20,32 $\pm$ 0,5	19,59 $\pm$ 0,62	0,15	ns	0,27	ns	1,57	ns
P	1,65 $\pm$ 1,64	1,91 $\pm$ 0,17	1,78 $\pm$ 0,15	1,94 $\pm$ 0,13	1,64	ns	0,26	ns	0,09	ns
K	12,75 $\pm$ 0,1 ab	12,18 $\pm$ 0,37 b	15,60 $\pm$ 0,4 a	11,34 $\pm$ 0,7b	18,97	**	3,27	ns	11,04	*
Ca	8,18 $\pm$ 0,91	7,57 $\pm$ 0,6	7,72 $\pm$ 0,45	6,96 0,3	1,38	ns	0,84	ns	0,01	ns
Mg	40,44 $\pm$ 1,23 a	40,09 $\pm$ 0,44 a	32,54 $\pm$ 0,2b	34,69 $\pm$ 0,1b	2,62	ns	141,97	***	4,98	ns

ns – Não significativo ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

3.4. DISCUSSÃO

3.4.1. Dados ambientais

A temperatura média do ar durante o experimento ficou próximo da normal do verão austral na região de Rio Grande (Normal Climatológica 1991-2020; Jan-Mar médias de 22,5 a 23,5 °C). Entretanto, a quantidade de chuvas no período estudado foi abaixo da média esperada (Normal Climatológica 1991-2020; precipitação dos meses de dezembro e janeiro em Rio Grande de, respectivamente, 90 mm e 97 mm; INMET, <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>). A salinidade média da água do viveiro (22 g L⁻¹) reflete o período de extensão de cunha salina sobre a região mediana do estuário da Lagoa dos Patos, durante a estiagem do verão (Moller et al., 2009).

A persistência durante o cultivo de baixas precipitações e altas temperaturas resultaram em gradual aumento da salinidade (condutividade elétrica) no solo do terreno cultivado. Estas condições demonstraram ser limitantes ao crescimento do *A. graveolens*, resultando na morte de todas as plantas. O amarelamento seguido de morte das folhas pelo *A. graveolens* reflete forte restrição ao desenvolvimento da área foliar e a translocação de íons Na e Cl para folhas mais velhas, seguidos de eliminação dos íons tóxicos pela abscisão prematura destas folhas (Pardossi et al., 1998; Pascali et al., 2003). Plantas de *A. graveolens* submetida a salinidades de 15,7 dS m⁻¹ ($\approx$ 10,6 g L⁻¹) demonstraram grande restrição de crescimento e redução na assimilação de K, Ca e Mg (Pascali et al., 2003), bem como quando crescendo em canteiros experimentaram estresse hídrico e toxicidade iônica mais severos do que plantas cultivadas hidroponicamente, expostas a mesma salinidade. Contrastantemente, as condições meteorológicas e de salinidade mantiveram-se dentro da faixa de tolerância da *S. neei* e de outros cultivos realizados anteriormente na região desta espécie (Costa e Herrera, 2016; Doncato e Costa; 2018; 2023b).

Os baixos teores de nutrientes dissolvidos na água do viveiro (0,03 $\pm$ 0,01 mg NO₃-N L⁻¹ e 0,22 $\pm$ 0,02 mg PO₄-P L⁻¹) foram também observados em outros cultivos extensivos de *P. vannamei* (0,0 - 67,58 μ g NO₃-N L⁻¹ e 235,17 - 37,98 μ g PO₄-P L⁻¹ em Santana, 2002; 7 μ g NO₃-N L⁻¹ em Hari et al., 2006), sendo os valores de nitrogenados e fosfato menores do que anteriormente citados para águas mixohalinas (salinidade da coluna d'água entre 11 e 20 g L⁻¹) do estuário da Lagoa dos Patos, próximo da Ilha do Leonídio e do terreno de cultivo (Baumgarten et al., 2005).

3.4.2. Desenvolvimento e o ganho de biomassa vegetal das halófitas

Plantas de *S. neei* mostraram tanto crescimento como produtividade por área semelhantes a estudos anteriores desta espécie, apesar dos baixos teores de macronutrientes na água de irrigação. A biomassa caulinar média produzida no cultivo foi cerca de $0,9 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$, superior à produtividade obtida por Greis (2009) em canteiro com neossolo arenoso em Rio Grande irrigado com águas do cultivo de camarão, de $0,69 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$, em espaçamentos de 15 cm ($\approx 24 \text{ plantas m}^{-2}$). Izeppi (2011) obteve produtividades de 0,20 a $0,13 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$ para plantas de *S. neei* cultivadas também em neossolo e densidades de, respectivamente, 16,7 a $8,3 \text{ plantas m}^{-2}$. Deve ser ressaltado que o estudo de Greis (2009), Izeppi (2011) e outros revisados por Costa e Herrera (2016), além do cultivo mais recente de Doncato e Costa (2023b), todos foram efetuados em canteiros sob irrigação salina, mas o desenvolvimento de *S. neei* ocorreu a partir de mudas até o estágio de frutificação por 14 a 26 semanas, antes da poda dos caules. Logo, a produção por área foi muitas vezes maior ($0,82$ a $2,34 \text{ kg m}^{-2}$) do que do presente estudo, mas a produtividade foi diluída pelo longo período de crescimento e alocação de fotossintetizados na formação de estruturas reprodutivas e raízes profundas. Considerando cultivos de *S. neei* que avaliaram a produção de rebrotes após poda, mas foram realizados em bancadas hidropônicas irrigadas com águas ricas em nutrientes da aquicultura salina intensiva, os valores encontrados por Britz (Capítulo 2) e por Silva et al. (2022) de $0,5$ - $0,8 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$ foram um pouco menores ao do nosso canteiro, apesar que Pinheiro et al. (2017) chegaram a obter uma produtividade de $3,41 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$. Altas produtividades em canteiros irrigados com águas da piscicultura intensiva ($2,9$ - $3,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ 30 dias}^{-1}$) também são descritas para *Salicornia europaea* no País de Gales por Webb et al. (2013). De qualquer maneira, a produtividade obtida no presente estudo em canteiro com planossolo, não parece poder ser explicada pela qualidade nutricional das águas de irrigação.

A condição nutricional do solo local se mostrou capaz de sustentar um bom crescimento de *S. neei*, devido as suas características arenolodas, alta capacidade de troca de cátions e de valores de P, K, Ca e Mg, bem como micronutrientes como o Fe. Os altos teores deste último elemento são particularmente importantes para a manutenção da produtividade vegetal em solos salinizados, onde a deficiência do Fe pode ocorrer por competição iônica e, por exemplo, reduzir a atividade de enzimas como a nitrato redutase (Ventura et al., 2013). Outra possível explicação da produtividade local pode ser a associação de bactérias promotoras do crescimento na

rizosfera de *S. neei*. Recentemente Teles et al. (2024) encontraram cepas halotolerantes de bactérias dos gêneros *Kushneria*, *Enterobacter*, *Bacillus* e *Oceanobacillus* na rizosfera de *S. neei* (erroneamente denominada *Salicornia fruticosa*), capazes de solubilizar diferentes formas de fosfato. Este processo de solubilização ocorre através da acidificação da rizosfera pela exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes da planta. Adicionalmente, bactérias fixadoras de nitrogênio têm sido identificadas nas rizosferas de várias espécies de *Salicornia* (Tshikhudo et al., 2023), sendo provável a ocorrência de associações semelhantes em *S. neei*. Estudos detalhados da comunidade microbiana associada as raízes de *S. neei* poderão esclarecer o papel destas na produtividade local.

A topografia do terreno afetou significativamente a retenção hídrica e consequentemente a umidade do solo, que foi maior no piso inferior. No entanto, teve pouco efeito sobre o desenvolvimento de *S. neei*. A boa retenção hídrica do piso superior (17-18% do peso do solo) pode garantir o crescimento de *S. neei*, que segundo Greis (2009), Costa et al. (2014) e Costa e Herrera (2016) demonstra ser sensível a baixos teores de umidade.

O menor desenvolvimento e produção individual de biomassa das plantas de *S. neei* crescendo em alta densidade pode ser explicado pela competição intraespecífica pelos recursos nutricionais. Izeppi (2011) mostrou que *S. neei* tem seu desenvolvimento individual e produção de biomassa significativamente reduzido com o aumento da densidade de cultivo de 4,2-5,6 plantas m⁻² para 8,3-16,7 plantas m⁻² em solos neossolos arenosos irrigados por água da carcinicultura. Elison (1987) e Webb et al. (2013) descrevem também esta redução do tamanho individual e da formação de ramos em caules de espécies de *Salicornia* com o aumento da densidade de vizinhos. Howes e Ungar (2001) cultivaram *Salicornia europaea* em solo salino ($\approx 20 \text{ gL}^{-1}$) em duas densidades de plantio (100 e 1000 plantas m⁻²), encontrando uma redução de 5,8 vezes da biomassa individual das plantas e nove vezes da produtividade por área nos canteiros com alta densidade. Os valores de densidade utilizados para esta espécie anual de *Salicornia* foram altos, mas semelhantes aos observados em sua área de ocorrência natural, e a produtividade alcançada após cinco meses de cultivo foi cerca de 1,5 kg m⁻² de massa fresca. Apesar da maior densidade reduzir o desenvolvimento individual das plantas de *S. neei*, a produção por área foi um pouco maior (não significativamente) do que o plantio na densidade baixa no piso superior. Este resultado sugere que, para o tipo de solo e condição nutricional, a baixa densidade de plantio pode gerar caules com

maior interesse agrônômico (maiores tamanhos de caules e números de ramificações), além de boa produtividade.

3.4.3. Qualidade nutricional da biomassa do aspargo marinho

Os teores de proteínas e lipídios observados foram maiores do que os encontrados por Riquelme et al. (2016) e Alves et al. (2020a). Ambos trabalhos citados, destacam um maior acúmulo de proteína bruta e/ou compostos nitrogenados em condições mais estressantes para as plantas em termos de concentração salina e disponibilidade hídrica. A composição centesimal de *S. neei*, como para outras espécies do gênero *Salicornia*, é caracteristicamente marcada por altos teores de cinzas (Davy et al., 2001; Howes e Ungar, 2001).

Os teores minerais encontrados nos caules de *S. neei* estão dentro da faixa citada em cultivos anteriores da mesma espécie em canteiros irrigados com águas salinas (Bertin et al. 2014; 2016; Riquelme et al. 2016; Alves et al. 2020a; Doncato e Costa, 2018; 2023b). Entretanto, as concentrações de Mg e N foram, respectivamente, cerca de 5,6 e 1,4 vezes maiores do que os valores encontrados por Doncato e Costa (2018) para *S. neei* (progenie BTH2; também usada no presente estudo) cultivada em neossolos quatzenicos, naturalmente caracterizados por baixas concentrações de Ca, Mg, K e P (Carvalho et al., 2015). Os valores de P caulinar foram semelhantes aos encontrados em *S. neei* por Doncato e Costa (2018), mesmo tendo estes autores irrigado as plantas com águas do cultivo de camarão com teor médio de P-PO₄ de 1,21 mg L⁻¹. Fato que parece reforçar a hipótese do papel de bactérias promotoras de crescimento na nutrição e desenvolvimento de *S. neei*, comentado anteriormente.

A densidade de cultivo teve pouco efeito sobre a composição iônica das plantas de *S. neei*. Resultado similar é descrito por Keiffer e Ungar (2001), onde concentrações semelhantes de Ca, Mg, K, Na e Cl foram encontradas nos caules de *Salicornia europaea* em diferentes densidades de plantio. Menores teores caulinares de Mg em *S. neei* foram observados no piso inferior. O Mg faz parte das funções vitais de fotossíntese e crescimento das plantas (Farhat, 2016). O planossolo argiloso é rico em Mg, mas devido a competição com outros cátions, nem sempre está disponível de maneira igual às plantas. Logo, os teores caulinares no piso inferior podem refletir na inibição da absorção desse íon pela presença de K (Xie et al., 2020). Esta hipótese pode ser evidenciada pela relação molar de Mg/K nos pisos superior e inferior de, respectivamente, 4,97 e 8,26. Já o maior teor de K nos caules de *S. neei* observado em

canteiros com alta densidade no piso inferior pode estar associado a maior salinidade durante o período de rebrote. Alves et al. (2020a) associou o acúmulo de K com estresse hídrico/salino para *S. neei* crescendo em canteiro no interior do Ceará. O acúmulo de K tecidual é frequentemente uma resposta a neutralização da toxicidade plasmática de Na (Brekle, 2012; Alves et al., 2020a).

CAPÍTULO 4

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como uma junção de sistemas de Tecnologia de Bioflocos e aquaponia, a floponia salina é uma técnica de cultivo de plantas halófitas recente e com várias lacunas de conhecimento a serem preenchidas. O presente estudo demonstrou a viabilidade de cultivo da miragaia *P. courbina* em sistema BFT e a possibilidade de produção do salsão *A. graveolens* em aquaponia e floponia salina, além de adicionar novas informações sobre as necessidades nutricionais e respostas de crescimento do aspargo marinho *S. neei* em aquaponia com e sem bioflocos, bem como em planossolo salino.

O primeiro experimento, *A. graveolens* e *S. neei* apresentaram uma marcada resposta positiva a alta disponibilidade de macronutrientes da floponia salina em tanques da miragaia *P. courbina*. As quantidades de macroelementos no meio com bioflocos (especialmente de nitrato e de fosfato) promoveram maior crescimento de parâmetros como número de folhas, altura e biomassa dos caules de ambas as espécies, em comparação ao cultivo em águas claras. A melhor condição nutricional da floponia resultou em um maior teor proteico e suculência dos caules da *S. neei*.

O segundo experimento, mostrou a inviabilidade da produção de *A. graveolens* em canteiros durante o verão gaúcho, irrigado com águas com salinidade próxima de 20 g L⁻¹. Estas condições impuseram sérias restrições fisiológicas ao salsão e morte de todas as plantas. Adicionalmente, a densidade de cultivo de 25 plantas m⁻² de *S. neei* no planossolo eutrófico, rico em argilas, elevou a competição intraespecífica, resultando em diminuição da biomassa caulinar (individual) por planta e do número de caules de tamanho com interesse para o mercado. Ainda, a produção de biomassa de *S. neei* por m² não apresentou diferença significativa entre as densidades 25 ind m⁻² e 13 ind m⁻². Logo, existe um melhor custo-benefício com a utilização da densidade de plantio de 13 ind m⁻² em planossolos irrigados com águas do cultivo de camarão em sistemas extensivos. A qualidade nutricional da biomassa de *S. neei* mostrou-se pouco influenciada pela densidade de cultivo, mas sensível a retenção hídrica do solo. O ambiente planossolo é naturalmente habitado pela espécie *S. neei*, rico em minerais e matéria orgânica, e supriu as necessidades nutricionais de um cultivo de 74 dias, uma vez que o aporte de macronutrientes da carcinocultura foi aparentemente ínfimo. Não podemos deixar de destacar a falta de conhecimento sobre a presença e o papel de bactérias promotoras de crescimento na rizosfera de *S. neei* nos cultivos realizados.

Quando comparada as composições das biomassas de caules dos aspargos marinhos cultivados em aquaponia/floponia e em canteiros, os valores médios de cinzas e proteína bruta foram mais elevados em plantas crescidas em canteiros. Isto, provavelmente ocorreu devido à salinidade mais elevada no experimento de campo, em que houve acúmulo de sais no sedimento durante época de estiagem e de sais e osmólitos nitrogenados nos caules, produto da homeostase celular e ajuste osmótico.

Salicornia neei é uma espécie ainda pouco comercializada e conhecida no Brasil. Nativa da região costeira do continente sul-americano esta espécie demonstra um grande potencial produtivo, em especial a variedade BHT2, em uma grande variedades de solos afetados pela salinidade ou em floponia. Enquanto o *A. graveolens* é uma espécie comercial, cultivada em todos continentes e, como demonstrado no presente estudo, com potencial para o cultivo em aquapônia e floponia em salinidades não superiores a 10 g L⁻¹. Ambas halófitas podem contribuir para uma maior diversificação na produção de alimentos e segurança alimentar.

Referências

- Abd-elkader, D.Y., Alkharpotly, A. 2016. Effect of nitrogenous concentration solutions on vegetative growth, yield and chemical characters of celery (*Apium graveolens* L.). Journal of Plant Production, 7 (11), 1201-1206. <https://doi.org/10.21608/JPP.2016.46970>
- Alves, P.R., de Lucena, E.M.P., Bonilla, O.H., Marques, E.C., Gomes Filho, E., Costa, C.S.B. 2020a. Solutos orgânicos e inorgânicos em *Salicornia neei* Lag. sob lâminas de irrigação e adubação no semiárido cearense. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 15(4), 360-367. <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i4.7932>
- Alves, P.R., Reis, A.T., Costa, C.S.B., Bonilla, O.H., de Lucena, E.M.P. 2020b. Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. Brazilian Journal of Development, 6(8), 63592-63605. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-696>
- Antunes, M.D., Gago, C., Guerreiro, A., Sousa, A.R., Julião, M., Miguel, M.G., Faleiro, M.L. Panagopoulos, T. 2021. Nutritional characterization and storage ability of *Salicornia ramosissima* and *Sarcocornia perennis* for fresh vegetable salads. Horticulturae, 7(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7010006>
- Ares, G., De Saldamando, L., Giménez, A., Deliza, R. 2014. Food and wellbeing. Towards a consumer-based approach. Appetite, 74, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.11.017>
- Association of official analytical chemists. 1998. 16th ed., Suplemente. Washington.
- Azim, M. E., Little, D. C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 283(1-4), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Baker, M.T., Lu, P., Parrella, J.A., Leggette, H.R. 2022. Consumer acceptance toward functional foods: A scoping review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>
- Baumgarten, M.G.Z., Luis, F.H.N., Martins, B.A.D. 2005. Saco do justino (rs-brasil): amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada. Atlântica (Rio Grande), 27 (2), 113-127. <https://doi.org/10.5088/atlantica.v27i2.2181>
- Baumgarten, M.G.Z., Walnner-Kersanach, M., Niencheski, L.F.H. 2010. Manual. de Análises em Oceanografia Química. 2.ed. Rio. Grande: Ed. FURG.
- Benato, J.L., Streit Jr, D., Teixeira, N.D.S., Rodrigues, R.B., de Freitas, T.R., Okamoto, M., Rodriguez, R. dos Santos, R.S., Dantas, R.V., Balbinot, A.P.B, de Oliveira, R.R.B., Maltez, L.C. Menossi, O. Sampaio, L.A. 2023. *Pogonias courbina* sperm characteristics in its first reproductive season. PeerJ Life and Environment, 11, e15600 <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.15600>

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

Bertin, R.L., Maltez, H.F., de Gois, J.S., Borges, D.L., Borges, G.D.S.C., Gonzaga, L. V., Fett, R. 2016. Mineral composition and bioaccessibility in *Sarcocornia ambigua* using ICP-MS. Journal of Food Composition and Analysis, 47, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.12.009>

Bligh, E.G., e Dyer, W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian journal of biochemistry and physiology, 37(8), 911-917.

Bruno, J. F., Rand, T. A., Emery, N. C., e Bertness, M. D. (2017). Facilitative and competitive interaction components among New England salt marsh plants. PeerJ Life and Environment, 5, e4049. doi: 10.7717/peerj.4049

Boitrage, W. J. 2015. Efeito da reutilização do meio de produção na recria de tilápias *Oreochromis niloticus* (linnaeus 1758), em sistema superintensivo bioflocos. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em aquicultura, Universidade de Rio Grande. Rio Grande, RS.

Borges, A M. 2009. Criação de tilápias. 2a. ed. Brasília, Emater - DF, 44 p.

Carvalho, R.P., Daniel, O., Davide, A. C., de Souza, F. R. 2015. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Caatinga, 28(1), 148-159.

Cerozi, B.S., Fitzsimmons, K. 2016. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. Bioresource technology, 219, 778-781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>

Cheeseman, J.M. 2015. The evolution of halophytes, glycophytes and crops, and its implications for food security under saline conditions. New Phytologist, 206(2), 557-570. <https://doi.org/10.1111/nph.13217>

Costa, C.B.S. 2006. A Salicornia: uma planta que pode ser utilizada no cultivo integrado com o camarão. Panorama Aquícola (Braz) 98, 28-33.

Costa, C.S.B., Vicenti, J.R., Moron-Villarreyes, J.A., Caldas, S., Cardoso, L.V., Freitas, R.F., D' oca, M. G. 2014. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 86, 935-943. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130022>

Costa, C.S.B. Herrera, O.B. 2016. Halófitas brasileiras: Formas de cultivo e usos. Gheyi, H.R., Dias, N. da S., Lacerda, C.F. de Gomes Filho, E. (eds.), Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. INCTSal, Fortaleza.

Costa, C.S.B., Herrera, O.B. 2016. Halophytic life in Brazilian salt flats: Biodiversity, uses and threats. Sabkha Ecosystems, V: The Americas, 11-27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27093-7_2

Costa, C.S.B., Kadereit, G., Freitas, G.P.M.D. 2019. Molecular markers indicate the phylogenetic identity of southern Brazilian sea asparagus: first record of *Salicornia neei* in Brazil. *Rodriguésia*, 70. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970039>

Custódio, L., Rodrigues, M.J., Pereira, C.G., Castañeda-Loaiza, V., Fernandes, E., Standing, D., Neori, A., Shpigel, M., Sagi, M. 2021. A Review on *Sarcocornia* Species: Ethnopharmacology, Nutritional Properties, Phytochemistry, Biological Activities and Propagation. *Foods*, 10, 2778. <https://doi.org/10.3390/foods10112778>

Da Rocha, A., Biazetti Filho, M., Stech, M., Paz da Silva, R. 2017. Lettuce production in aquaponic and biofloc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*. *Boletim Instituto de Pesca*, 43, 64. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017.64.73>

Dasgupta, S., Hossain, M. M., Huq, M., Wheeler, D. 2015. Climate change and soil salinity: The case of coastal Bangladesh. *Ambio*, 44, 815-826. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0681-5>

Davy, A.J., Bishop, G.F., Costa, C.S.B. 2001. *Salicornia* L. (*Salicornia pusilla* J. woods, *S. ramosissima* J. woods, *S. europaea* L., *S. obscura* PW ball e tutin, *S. nitens* PW ball e tutin, *S. fragilis* PW ball e tutin and *S. dolichostachya* moss). *Journal of Ecology*, 89(4), 681-707. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00607.x>

Department of agriculture. 2019. Celery-raw: Food data central. Agricultural research service. Washington dc. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2346405/nutrients> (Acesso em 9 de fevereiro de 2024)

De Pascale, S., Maggio, A., Ruggiero, C., Barbieri, G. 2003. Growth, water relations, and ion content of field-grown celery [*Apium graveolens* L. var. dulce (Mill.) Pers.] under saline irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(1), 136-143. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.1.0136>

D'oca, M.G.M, Morón-Villarreyes, J.A., Lemões, J.S. Costa C.S.B, 2012. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84, 865-870. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000044>

Doncato, K.B., Costa, C.S.B. 2018. Nutritional potential of a novel sea asparagus, *Salicornia neei* Lag., for human and animal diets. *Biotemas*, 31(4), 57-63. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2018v31n4p57>

Doncato, K.B., Costa, C.S.B. 2019. Germination and fungal infection of wild celery (*Apium graveolens* L.) seeds, from southern Brazil, under different temperature and disinfection conditions. *Revista Ceres*, 66, 402-406. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966050010>

Doncato, K.B., Costa, C.S.B. 2021. Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture*, 531, 735815. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735815>

Doncato, K.B, Costa, C.S.B. 2022. Effects of cutting on vegetative development and biomass quality of perennial halophytes grown in saline aquaponics. *Horticultura Brasileira* 40 (4). <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220412>

Doncato, K.B., Costa, C.S.B. 2023a. Evaluation of nitrogen and phosphorus nutritional needs of halophytes for saline aquaponics. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00479-7>

Doncato, K.B., Costa, C.S.B. 2023b. Saline irrigation schedules on mineral composition of sea asparagus *Salicornia neei* Lag. progenies. *Revista de Ciências Agrárias*, 46(4): 304-310. <https://doi.org/10.19084/rca.30817>

Dohn, J., Augustine, D.J., Hanan, N.P., Ratnam, J., Sankaran, M. 2017. Spatial vegetation patterns and neighborhood competition among woody plants in an East African savanna. *Ecology*, 98(2), 478-488. <https://doi.org/10.1002/ecy.1659>

Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4), 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

Ekanayake, S., Egodawatta, C., Attanayake, R.N., Perera, D. 2023. From salt pan to saucepan: *Salicornia*, a halophytic vegetable with an array of potential health benefits. *Food Frontiers*, 4(2), 641-676. <https://doi.org/10.1002/fft2.214>

Emerenciano, M. G., Miranda-Baeza, A., Martínez-Porchas, M., Poli, M. A., Vieira, F.D.N. 2021. Biofloc technology (BFT) in shrimp farming: past and present shaping the future. *Frontiers in Marine Science*, 8, 813091. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.813091>

FAO. 2021. Global Map of Salt Affected Soils Version 1.0 <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/> (Acesso em 11 de fevereiro de 2024)

Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C., e Rabhi, M. 2016. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta physiologiae plantarum*, 38(6), 145. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2165-z>

Fierro-Sañudo, J.F., Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Pérez-Osuna, F. 2020. Co-culture of shrimp with commercially important plants: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2411-2428. <https://doi.org/10.1111/raq.12441>

Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr, W. 2011. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*, 321(1-2), 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>

[dataset] Flowers, T. J. 2014. eHALOPH Halophytes Database. <http://www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/>

Fontaine, L.P., Whiteman, K.W., Li, P., Burr, G.S., Webb, K.A., Goff, J., Gatlin, D.M., Neill, W.H., Davis, K.B., Vega, R.R., 2007. Effects of Temperature and Feed Energy on the Performance of Juvenile Red Drum. Transactions of the American Fisheries Society 136, 1193–1205. <https://doi.org/10.1577/T06-136.1>

Foxx, A. J., Fort, F. 2019. Root and shoot competition lead to contrasting competitive outcomes under water stress: A systematic review and meta-analysis. PloS one, 14(12), e0220674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220674>

Gianuca D., Costa C.S.B. 2005. Herbivoria do caranguejo *Chasmagnathus granulatus* sobre a grama de marisma *Spartina alterniflora*: experimento de exclusão. Anais, VII CEB, Caxambu - MG. <https://seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiceb/resumos/1112a.pdf> (acesso em 04 fevereiro 2024)

Glenn, E. P., Brown, J. J., O’Leary, J. W. 1998. Irrigating crops with seawater. Scientific American, 279(2), 76-81.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G. M. 2019. Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer Nature, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

Greis, G. 2009. Cultivo de *Salicornia Gaudichiana* Moq. Irrigada com efluente de camarão no clima temperado na costa sul do Brasil. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande.

Haimovici, M., Chao, L., Vieira, J.P., Buratti, C., Díaz de Astarloa, J., Irigoyen, A., Riestra, C., Landaeta, M. e Hüne, M. 2020. *Pogonias courbina*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T159145751A159145756. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20202.RLTS.T159145751A159145756.en>

Hari, B., Kurup, B.M., Varghese, J.T., Schrama, J.W., Verdegem, M.C.J. 2006. The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. Aquaculture, 252(2-4), 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.044>

Holanda, M., Santana, G., Furtado, P., Rodrigues, R.V., Cerqueira, V.R., Sampaio, L.A., Poersch, L.H. 2020. Evidence of total suspended solids control by *Mugil liza* reared in an integrated system with pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using biofloc technology. Aquaculture Reports, 18, 100479. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100479>

Howes K.C. Ungar, I.A. 2001. The effect of competition and edaphic conditions on the establishment of halophytes on brine affected soils. Wetlands ecology and management, 9, 469-481. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/a:1012280611727.pdf> (Acesso em 24 de fevereiro 2024)

Izeppi, E.M., 2011. Efeitos da densidade de plantio na sobrevivência, desenvolvimento e produção de biomassa da halófita *Sarcocornia ambigua* (michx.) Alonso e Crespo. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande.

- Javid, M., Ford, R., Nicolas, M.E. 2012. Tolerance responses of *Brassica juncea* to salinity, alkalinity and alkaline salinity. *Functional Plant Biology*, 39(8), 699-707. <https://doi.org/10.1071/FP12109>
- Jones, G.V., Alves, F. 2012. Impact of climate change on wine production: a global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal. *International Journal of Global Warming*, 4(3-4), 383-406. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2012.049448>
- Khalil, A., Nawaz, H., Ghania, J. B., Rehman, R., Nadeem, F. 2015. Value added products, chemical constituents and medicinal uses of celery (*Apium graveolens* L.)—A review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 8(2015), 40-48.
- Kotzen, B., Emerenciano, M.G.C., Moheimani, N., Burnell, G.M. 2019. Aquaponics: Alternative types and approaches. *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 301-330.
- Koyro, H.W., Geissler, N., Hussin, S., Huchzermeyer, B. 2006. Mechanisms of cash crop halophytes to maintain yields and reclaim saline soils in arid areas. *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Springer Netherlands, 345-366. https://doi.org/10.1007/1-4020-4018-0_22
- Kuroski, F. 2022. A temperatura influencia o crescimento e respostas de estresse oxidativo em juvenis de miragaia (*Pogonias courbina*). Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande.
- Lacepède, B.G.E. 1803. Histoire naturelle des poissons. Tome Cinquieme. 5(1-21): i-lxviii + 1-803 + index. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/6335629>>0 (Acesso em 10 de janeiro 2024.)
- Maestre, F.T., Callaway, R.M., Valladares, F., Lortie, C.J. 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of ecology*, 97(2), 199-205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01476.x>
- Mirlean, N., Costa, C.S. 2017. Geochemical factors promoting die-back gap formation in colonizing patches of *Spartina densiflora* in an irregularly flooded marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 189, 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.03.006>
- Moller, O.O., Castello, J.P., Vaz, A.C. 2009. The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuaries coasts*, 787–796. <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9168-6>
- Mudie, P.J., Greer, S., Brakel, J., Dickson, J.H., Schinkel, C., Peterson-Welsh, R., Stevens, M., Turner, N.J., Shadow, M., Washington, R. 2005. Forensic palynology and ethnobotany of *Salicornia* species (Chenopodiaceae) in northwest Canada and Alaska. *Canadian Journal of Botany*, 83(1), 111-123. <https://doi.org/10.1139/b04-159>
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H.S., Sharma, P.C., Bolan, N.S. 2021. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>

Negacz, K., Malek, Ž., de Vos, A., Vellinga, P. 2022. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of arid environments*, 203, 104775. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>

Odell, J., Adams, D.H., Boutin, B., Collier, W., Deary, A., Havel, L.N., Johnson jr., J.A., Midway, S.R., Murray, J., Smith, K., Wilke, K.M., Yuen, M.W., 2017. Atlantic sciaenid habitats: A review of utilization, threats, and recommendations for conservation, management, and research. Atlantic States Marine Fisheries Commission Habitat Management, series nº 14, Arlington, VA(USA). 137p. http://www.asmf.org/files/Habitat/HMS14_AtlanticSciaenidHabitats_Winter2017.pdf

Oliveira, G. 2017. Avaliação de dois Sistemas Aquapônicos com a Halófito *Sarcocornia ambigua* (michx.) Alonso e Crespo para recirculação de água da piscicultura marinha intensiva. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande.

Ordoñez-Araque, R., Narváez-Aldáz, C. 2019. Changes in the physico-chemical composition, total polyphenols and antioxidant activity of fresh celery (*Apium graveolens* L.) dehydrated by hot air and by lyophilization. *Agriscientia*, 36(2), 57-65. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v36.n2.24036>

Palomino Arroyo, S., 2021, Comportamiento agronómico de dos variedades de apio (*Apium graveolens* L.) en sistema hidropónico de raíces flotantes bajo diferentes dosis de solución nutritiva. Tese de Doutorado, Universidad Mayor de San Andres, Bolivia.

Pardossi, A., Malorgio, F., Oriolo, D., Gucci, R., Serra, G., Tognoni, F. 1998. Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Physiologia plantarum*, 102(3), 369-376.

Pardossi, A., Bagnoli, G., Malorgio, F., Campiotti, C.A., Tognoni, F. 1999. NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. *Scientia Horticulturae*, 81(3), 229-242.

Pascale, S., Maggio, A., Ruggiero, C., Barbieri, G. 2003. Growth, water relations, and ion content of field-grown celery [*Apium graveolens* L. var. dulce (Mill.) Pers.] under saline irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(1), 136-143.

Pinheiro, I., Arantes, R., do Espírito Santo, C.M., do Nascimento Vieira, F., Lapa, K.R., Gonzaga, L.V., Fett, R., Barcellos Oliveira, J.L., Seiffert, W.Q. 2017. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100, 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.024>

Pinheiro, I., Carneiro, R.F.S., do Nascimento Vieira, F., Gonzaga, L.V., Fett, R., de Oliveira Costa, A.C., Bajas, F.J.M e Seiffert, W.Q. 2020. Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. *Aquaculture*, 519, 734918.

Pinho, S. M., Molinari, D., de Mello, G. L., Fitzsimmons, K. M., e Emerenciano, M. G. C. 2017. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103, 146-153. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00608-y>

Pinho, S.M., David, L.H.C., Goddek, S. Emerenciano, M.G.C., Portella, M.C. 2021. Integrated production of Nile tilapia juveniles and lettuce using biofloc technology. *Aquaculture International*, 29, 37–56. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736932>

Poersch, L., Brunson, J., Gaona, C. A., Stokes, A., Richardson, J., Pitts, K., Leffler, J. 2021. Pacific white shrimp, red drum, and tilapia integrated in a biofloc system: Use of tilapia as a consumer of total suspended solids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(6), 1168-1177. <https://doi.org/10.1111/jwas.12832>

Poli, M.A., Legarda, E.C., de Lorenzo, M.A., Martins, M. A., do Nascimento Vieira, F. 2019. Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquaculture*, 498, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.045>

Rakocy, J.E. 2012. Aquaponics—integrating fish and plant culture. Tidwell, J. H. (Ed.) *Aquaculture production systems*. John Wiley e Sons, Nova York, pp. 421. <https://doi.org/10.1002/9781118250105>

Riquelme, J., Olaeta, J. A., Ranilla, L. G., Undurraga, P., Fuentealba, C., Osses, A., Orellana, J., Gallardo, J.A., Pedreschi, R. 2016. Nutritional and functional characterization of wild and cultivated *Sarcocornia neei* grown in Chile. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 43(2), 283-293. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200011>

Rodrigues, R.V. 2019. Furg produz os primeiros juvenis de miragaia *pogonias* sp. *Aquaculture Brasil*, 20, 60-61.

Rodrigues, R.V., Schwarz, M.H., Delbos, B.C. 2007. Acute toxicity and sublethal effects of ammonia and nitrite for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 271(1-4), 553-557. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.009>

Rodrigues, R.V., Schwarz, M.H., Delbos, B.C., Carvalho, E.L., Romano, L.A., Sampaio, L.A. 2011. Acute exposure of juvenile cobia *Rachycentron canadum* to nitrate induces gill, esophageal and brain damage. *Aquaculture*, 322, 223-226. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.040>

Rossberg, K. S., Strawn, R. K. 1980. Induced feeding and growth enhancement of black drum when cultured with Florida pompano and with striped mullet. *Proceedings of the World Mariculture Society*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 11 (1-4), 226-234.

Rozema, J., Schat, H. 2013. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.004>

Ruto, E., Tzemi, D., Gould, I., Bosworth, G. 2021. Economic impact of soil salinization and the potential for saline agriculture. *Future of sustainable agriculture in saline environments*. CRC Press, 93-114. <https://doi.org/10.1201/9781003112327-6> Sampaio, C.B., Detmann, E., Paulino, M.F., Valadares Filho, S.C., de Souza, M.A., Lazzarini, I., Paulino, P.V.R. de Queiroz, A.C. 2010. Intake and digestibility in cattle fed low-quality

tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42, 1471-1479. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>

Santana, M.F.A.D. 2002. Cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em viveiros estuarinos de Itamaracá-PE. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

Shad, A.A., Shah, H.U., Bakht, J., Choudhary, M.I., Ullah, J. 2011. Nutraceutical potential and bioassay of *Apium graveolens* L. grown in Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(20), 5160-5166. Sugiura, S. H. 2018. Phosphorus, aquaculture, and the environment. *Reviews in Fisheries Science e Aquaculture*, 26(4), 515-521. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1471040>

Silva, H.V., Martins, M.A., do Espírito Santo, C.M., do Nascimento Vieira, F., Rezende, P.C., Gonzaga, L.V., Fett, R. e Seiffert, W.Q. 2022. Aquaponic production of sea asparagus and Pacific white shrimp using biofloc technology: Different irrigation regimes affect plant production of bioactive compounds and antioxidant capacity. *Aquaculture Research*, 53(3), 1001-1010.

Sobral, L.F., Barreto, M.D.V., Da Silva, A.J., dos Anjos, J.L. 2015. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Documentos n. 206. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 13 p.

Souza, M.M., Mendes, C.R., Doncato, K.B., Badiale-Furlong, E., Costa, C.S.B. 2018. 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*, 8(7), 115. <https://doi.org/10.3390/agriculture8070115>

Sowbhagya, H.B. 2014. Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (*Apium graveolens* L.): an overview. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(3), 389-398. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.586740>

Streck, V.S., Kampf, N. Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, P.C., Giasson, E., Pinto, L.F.S., Flores, C. A., Schneider, P. 2018. Solos do Rio Grande do Sul. 3ª ed. Porto Alegre. Emater/RS- Ascar. 252 p.

Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis.

Supajaruwong, S., Satanwat, P., Pungrasmi, W., Powtongsook, S. 2020. Design and function of a nitrogen and sediment removal system in a recirculating aquaculture system optimized for aquaponics. *Environmental engineering research*, 26(2), e190494. <https://doi.org/10.4491/eer.2019.494>

Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, Boletim técnico, n. 5.

Teles E.A.P., Xavier J.F., Arcenio F.S., Amaya R.L., Gonçalves J.V.S., Rouws L.F.M., Zonta E., Coelho I.S. 2024. Characterization and evaluation of potential halotolerant phosphate solubilizing bacteria from *Salicornia fruticosa* rhizosphere. *Front. Plant Sci.* 14:1324056. doi: 10.3389/fpls.2023.1324056

Tshikhudo, P.P., Ntushelo, K., e Mudau, F.N. 2023. Sustainable applications of endophytic bacteria and their physiological/biochemical roles on medicinal and herbal plants. *Microorganisms*, 11(2), 453. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020453>

Urteaga, J.R., Perrota, R.G. 2001. Estudio preliminar de la edad, el crecimiento, área de distribución y pesca de la corvina negra, *Pogonias cromis* (Linnaeus, 1766) (Perciformes: Sciaenidae) en el litoral de la Provincia de Buenos Aires. *Informe Técnico INIDEP*, 43, 1-22.

U.S. Department of Agriculture. 2019. Celery-raw: FoodData Central. Agricultural Research Service. Washington DC. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2346405/nutrients> (Acesso em 29 de janeiro 2024)

Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Myrzabayeva, M., Alikulov, Z., Khozin-Goldberg, I., Shpigel, M., Shamocha, T.M. Sagi, M. 2011. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 128(3), 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.001>

Ventura, Y., Myrzabayeva, M., Alikulov, Z., Cohen, S., Shemer, Z., Sagi, M. 2013. The importance of iron supply during repetitive harvesting of *Aster tripolium*. *Functional Plant Biology*, 40(9), 968-976. <https://doi.org/10.1071/FP12352>

Wang, T. Y., Wang, P., Wang, Z. L., Niu, G. Y., Yu, J. J., Ma, N., Wu, Z., Pozdniakov, S.P., Yan, D.H. 2021. Drought adaptability of phreatophytes: insight from vertical root distribution in drylands of China. *Journal of Plant Ecology*, 14(6), 1128-1142. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtab059>

Welch, B. L. 1938. "The significance of the difference between two means when the population variances are unequal." *Biometrika*, 29 (¾), 350–62.

Webb, J. M., Quintă, R., Papadimitriou, S., Norman, L., Rigby, M., Thomas, D. N., Le Vay, L. 2013. The effect of halophyte planting density on the efficiency of constructed wetlands for the treatment of wastewater from marine aquaculture. *Ecological Engineering*, 61, 145-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.058>

Xie, K., Cakmak, I. Wang, S. Zhang, F. Guo, S. 2021. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal* 9(2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>

Yeoh, H. H., Wee, Y. C. 1994. Leaf protein contents and nitrogen-to-protein conversion factors for 90 plant species. *Food Chemistry*, 49(3), 245-250.

Zar, H. J. 2010. *Biostatistical analysis*. 5th ed, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, New Jersey.

