



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

ISABELA CLAUDIANA PINHEIRO

**Estratégias de produção de camarão marinho e salicórnia em aquaponia com bioflocos**

Florianópolis

2021

Isabela Claudiana Pinheiro

**Estratégias de produção de camarão marinho e salicórnia em aquaponia com  
bioflocos**

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Aquicultura da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a obtenção do  
título de Doutora em Aquicultura

Orientador: Dr. Walter Quadros Seiffert  
Coorientador: Dr. Francisco Javier  
Magallón- Barajas

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pinheiro, Isabela Claudiana

Estratégias de produção de camarão marinho e salicórnica em aquaponia com bioflocos / Isabela Claudiana Pinheiro ; orientador, Walter Quadros Seiffert, coorientador, Francisco Javier Magallón-Barajas, 2021.

82 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. *Litopenaeus vannamei*. 3. *Sarcocornia ambigua*. 4. Cultivo integrado. 5. BFT. I. Seiffert, Walter Quadros. II. Magallón-Barajas, Francisco Javier. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Isabela Claudiana Pinheiro

**Estratégias de produção de camarão marinho e salicórnia em aquaponia com bioflocos**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

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

Dr. Bruno Correa da Silva  
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Dra. Norha Constanza Bolívar Ramírez  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Frank Belettini  
Universidade Federal de Santa Catarina

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

---

Leila Hayashi, Dra.  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

---

Walter Quadros Seiffert, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado à memória do meu avô Isidro Domiêncio Pinheiro, “o homem da luz do Ribeirão”.

## AGRADECIMENTOS

Desde que ingressei na graduação em Engenharia de Aquicultura na UFSC, há quase 15 anos, tive a sorte de conhecer pessoas incríveis e fazer grandes amigos. Com o encerramento de mais esse ciclo em minha vida, fica a certeza de que faço parte de uma enorme família, que hoje se espalha ao redor do mundo. Por isso agradeço a todos que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional ao longo desses anos. Porém, preciso citar e agradecer especialmente aqueles que foram peças-chave para que essa tese fosse elaborada:

Aos meus pais, irmãos e sobrinho e toda minha família;

Ao meu orientador Walter Quadros Seiffert, sempre me encorajando a seguir adiante e buscar meus objetivos. Ao meu coorientador Dr. Francisco Magallón, pela oportunidade de estágio no Cibnor;

Ao Felipe Vieira, um exemplo de pesquisador para mim, que não mede esforços na condução do Laboratório de Camarões Marinhos e para ajudar os alunos;

À Leila Hayashi, além de excelente pesquisadora, uma amiga e conselheira. Ao Carlito e demais professores e colaboradores do PPGAQI;

Aos meus bebezinhos do Grupo de Aquaponia do LCM: Ramon, Ângela e Matheus, pois sem a ajuda deles os experimentos não teriam acontecido;

Aos meus amigos Bruno Pierri e Esmeralda, que estavam sempre presentes, e à Mari Pallaoro, Weber, Rodrigo, Fredi, Gabi Soltes, Ana Clara, Claudinha, Moisa e demais amigos e colaboradores do LCM e PPGAQI;

À Eliza, Celene, Yenitze, Meli e Paola e demais amigos do Cibnor e de La Paz;

À Desi, Mirko e Matt e todos os colegas do Alfred Wegener Institut, na Alemanha. Aos parceiros da BluEco Net Björn e Fábio. E aos amigos do ZAF: Gregor, Rajko, Jörn, Kai, Amir, Lasse e Markus.

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

À Capes pela bolsa de doutorado no Brasil, ao Conacyt (México) pelo apoio durante o estágio em La Paz, ao DAAD (Alemanha) pela bolsa de estudos para o doutorado sanduíche e ao CNPq pelo apoio financeiro para execução do projeto.

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

## RESUMO

A integração do camarão-branco-do-Pacífico e da planta halófito salicórnica em aquaponia com bioflocos pode aumentar a produtividade e rentabilidade do cultivo e promover maior sustentabilidade devido ao aproveitamento dos nutrientes. Entretanto, por ser uma tecnologia recente, existem ainda muitos questionamentos sobre as condições ideais para a produção integrada desses organismos. Assim, essa tese apresenta duas estratégias de cultivo visando a otimização da produção de camarão (*Litopenaeus vannamei*) e salicórnica (*Sarcocornia ambigua*) em sistema de aquaponia com bioflocos. Para isso foram desenvolvidos dois experimentos. O primeiro avaliou a relação da salinidade com o desempenho de *L. vannamei* e *S. ambigua* em cultivo integrado em sistema de bioflocos e o segundo experimento avaliou o efeito do uso contínuo do sedimentador de sólidos no cultivo de *L. vannamei* e *S. ambigua* em aquaponia com bioflocos. De acordo com os resultados desses experimentos, foi observado que o cultivo integrado de *L. vannamei* com *S. ambigua* pode ser realizado em salinidades entre 16 e 24 psu, uma vez que a performance do camarão não é prejudicada e o crescimento das plantas e a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados é favorecida nessa faixa de salinidade. Também foi demonstrada a viabilidade do cultivo aquapônico de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos sem a necessidade de usar o sedimentador de sólidos de forma contínua, pois dessa forma os parâmetros de qualidade da água se mantêm mais estáveis e a estrutura de aquaponia pode ser simplificada.

**Palavras-chave:** Aquicultura. *Litopenaeus vannamei*. *Sarcocornia ambigua*. Cultivo integrado. BFT.

## ABSTRACT

The integration of Pacific white shrimp and the halophyte plant salicornia in aquaponics with biofloc can increase the productivity and profitability of the crop and promote greater sustainability due to the use of nutrients. However, as it is a recent technology, there are still many questions about the ideal conditions for the integrated production of these organisms. Thus, this Ph.D. thesis presents two cultivation strategies aimed at optimizing the production of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and salicornia (*Sarcocornia ambigua*) in an aquaponic system with biofloc. For this, two experiments were developed. The first one evaluated the relationship of salinity with the performance of *L. vannamei* and *S. ambigua* in integrated cultivation with biofloc and the second evaluated the effect of the continuous use of the settling chamber for solids removal in the cultivation of *L. vannamei* and *S. ambigua* in aquaponics with biofloc. According to the results of these experiments, it was observed that the integrated cultivation of *L. vannamei* with *S. ambigua* can be carried out in salinities between 16 and 24 psu, since the performance of the shrimp is not impaired, and the growth of the plants and the removal of nitrogenous and phosphate compounds is favored in this range of salinity. The viability of the aquaponic cultivation of *L. vannamei* and *S. ambigua* with biofloc has also been demonstrated without the need to use the settling chamber continuously, as this way the water quality parameters will be more stable, and the aquaponics structure can be simplified.

**Keywords:** Aquaculture. *Litopenaeus vannamei*. *Sarcocornia ambigua*. Integrated cultivation. BFT.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Unidade experimental aquapônica utilizada no experimento. Adaptada de PINHEIRO et al. (2017)..... 32
- Figura 2. Regressão quadrática dos dados de sobrevivência de *Litopenaeus vannamei* cultivado nas salinidades 8 psu, 16 psu, 24 psu e 32 psu. A linha pontilhada vertical indica o ponto máximo obtido pela derivação da equação. .... 36
- Figura 3. (a) Nitrogênio amoniacal total, (b) nitrito e (c) nitrato nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia em diferentes salinidades por oito semanas..... 39
- Figura 4. Regressão quadrática das concentrações de (a) NAT, (b) NO<sub>2</sub> e (c) NO<sub>3</sub> na água do cultivo de *Litopenaeus vannamei* em diferentes salinidades. A linha pontilhada vertical indica as salinidades interpoladas obtidas pela derivação da equação..... 39
- Figura 5. Unidade experimental aquapônica do tratamento sem sedimentador. Adaptado de PINHEIRO et al. (2017)..... 55
- Figura 6. Unidade experimental aquapônica do tratamento com sedimentador. Adaptado de PINHEIRO et al. (2017)..... 56
- Figura 7. Concentração de sólidos suspensos totais na água dos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante oito semanas..... 59
- Figura 8. (a) Nitrogênio amoniacal total, (b) nitrito e (c) nitrato nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador. .... 61
- Figura 9. Ortofosfato dissolvido nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador. .... 61

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Concentrações (média  $\pm$  desvio padrão) e proporções dos principais íons da água do mar e água nos tanques de *Litopenaeus vannamei* no sistema de aquaponia com diferentes salinidades..... 33
- Tabela 2. Índices de produção de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia em diferentes salinidades durante 57 dias com densidade de estocagem de 300 camarões  $m^{-3}$ ..... 37
- Tabela 3. Índices de produção de *Sarcocornia ambigua* cultivada em sistema de aquaponia com diferentes salinidades por oito semanas..... 37
- Tabela 4. Variáveis de qualidade da água em tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia com diferentes salinidades durante 57 dias, com densidade de estocagem de 300 camarões  $m^{-3}$ ..... 38
- Tabela 5. Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo nos camarões e plantas após 57 dias de cultivo em sistema de aquaponia com diferentes salinidades. .... 40
- Tabela 6. Lodo total produzido, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF) na oitava semana de cultivo de *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em aquaponia com e sem o uso de sedimentador. .... 59
- Tabela 7. Variáveis de qualidade da água em tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante 54 dias, com densidade de estocagem de 375 camarões  $m^{-3}$ ..... 60
- Tabela 8. Índices de produção de *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* cultivados em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante 54 dias. .... 62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT – Tecnologia de bioflocos

BOA – Bactérias oxidantes de amônia

BON – Bactérias oxidantes de nitrito

C:N – Relação entre carbono e nitrogênio

CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de cálcio

Cl – Cloro

DPPH – Radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

DWC – cultivo em leito flutuante, do inglês *Deep Water Culture*

EAG - Equivalente ao ácido gálico

EUf - Eficiência de uso do fósforo

EUN – Eficiência de uso do nitrogênio

FCA – Fator de conversão alimentar

K – Potássio

MF – Matéria fresca

Mg – Magnésio

N – Nitrogênio

Na – Sódio

NaCl – Cloreto de sódio

NAT – Nitrogênio amoniacal total

NFT – técnica de filme nutriente, do inglês *Nutrient Film Technique*

NH<sub>3</sub> – Amônia não ionizada ou amônia

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amônia ionizada ou amônio

NO<sub>2</sub> – Nitrito

NO<sub>3</sub> – Nitrato

NTK – Nitrogênio total Kjeldahl

P – Fósforo

PO<sub>4</sub> – Ortofosfato

psu – unidade prática de salinidade

SSF – Sólidos suspensos fixos

SST – Sólidos suspensos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

TEAC – Capacidade antioxidante equivalente ao Trolox

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
1.1	SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS.....	15
<b>1.1.1</b>	<b>Produção de nutrientes no sistema BFT.....</b>	<b>16</b>
1.1.1.1	Compostos nitrogenados .....	16
1.1.1.2	Ortofosfato.....	17
1.2	AQUAPONIA .....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Aquaponia marinha com uso de plantas halófitas .....</b>	<b>20</b>
1.2.1.1	<i>Sarcocornia ambigua</i> .....	20
1.3	DESAFIOS DA AQUAPONIA MARINHA COM BIOFLOCOS.....	22
<b>1.3.1</b>	<b>Influência da salinidade .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Influência dos sólidos suspensos totais .....</b>	<b>24</b>
1.4	OBJETIVOS.....	25
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>25</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>25</b>
1.5	ESTRUTURA DA TESE .....	25
<b>2</b>	<b>Produção aquapônica de <i>Sarcocornia ambigua</i> e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades.....</b>	<b>26</b>
2.1	RESUMO .....	27
2.2	ABSTRACT .....	28
2.3	INTRODUÇÃO.....	29
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
<b>2.4.1</b>	<b>Material biológico.....</b>	<b>30</b>
2.4.1.1	Camarão.....	30
2.4.1.2	Plantas .....	31
<b>2.4.2</b>	<b>Desenho experimental, unidades experimentais e manejo do sistema .....</b>	<b>31</b>

2.4.3	Variáveis de qualidade da água .....	34
2.4.4	Índices de desempenho dos camarões.....	34
2.4.5	Índices de produção das plantas .....	35
2.4.6	Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo.....	35
2.4.7	Análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais em <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	35
2.4.8	Análise estatística .....	36
2.5	RESULTADOS .....	36
2.5.1	Performance de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	36
2.5.2	Performance de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	37
2.5.3	Parâmetros de qualidade da água.....	37
2.5.4	Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo.....	39
2.5.5	Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante em <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	40
2.6	DISCUSSÃO .....	40
2.7	CONCLUSÃO.....	43
2.8	AGRADECIMENTOS .....	44
2.9	FINANCIAMENTO.....	44
2.10	REFERÊNCIAS .....	44
3	<b>Efeito do uso de sedimentador de sólidos no cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i> e <i>Sarcocornia ambigua</i> em aquaponia com bioflocos.....</b>	<b>50</b>
3.1	RESUMO .....	51
3.2	ABSTRACT .....	52
3.3	INTRODUÇÃO.....	53
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3.4.1	Material biológico.....	54
3.4.2	Desenho experimental e manejo do sistema.....	55

<b>3.4.3</b>	<b>Variáveis de qualidade da água e quantificação do lodo .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Índices de desempenho dos camarões e das plantas.....</b>	<b>58</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>58</b>
<b>3.5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Concentração de sólidos e produção de lodo .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Qualidade da água.....</b>	<b>60</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Desempenho dos camarões e plantas .....</b>	<b>61</b>
<b>3.6</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>3.7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>3.8</b>	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>65</b>
<b>3.9</b>	<b>FINANCIAMENTO.....</b>	<b>66</b>
<b>3.10</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL DA TESE.....</b>	<b>70</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE A – Imagens do experimento 1 (salinidades) .....</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICE B – Imagens do experimento 2 (sedimentador).....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com a FAO (2020), a aquicultura cresce mais rapidamente do que outros grandes setores de produção de alimentos, e em 2018 foram produzidas mundialmente 114,5 milhões de toneladas de plantas e animais aquáticos. A carcinicultura é um importante segmento aquícola, sendo que o cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* atualmente corresponde a 52,9% da produção de crustáceos no mundo (FAO, 2020). No Brasil, cerca de três mil produtores cultivaram 77 mil toneladas de camarões peneídeos em 2018 (VALENTI et al., 2021).

O desafio de atender às necessidades dos consumidores com um suprimento sustentável de alimentos aquáticos persiste, e o manejo da pesca e a proteção ambiental são importantes nesse sentido (FAO, 2018). Dessa forma, a tecnologia de cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology* ou BFT) é uma alternativa para a intensificação da produção, pois utiliza os recursos de forma mais eficiente (AVNIMELECH, 2015). O sistema BFT foi desenvolvido principalmente para a produção superintensiva de camarões marinhos e tilápia (VALENTI et al., 2021).

### 1.1 SISTEMA DE CULTIVO EM BIOFLOCOS

Os bioflocos são agregados de algas, bactérias, protozoários e matéria orgânica particulada, como restos de alimento e fezes (MARTÍNEZ-CÓRDOVA et al., 2015). A manutenção da qualidade da água é obtida estimulando o crescimento das comunidades bacterianas por meio do controle da relação entre carbono e nitrogênio (C:N), adicionando uma fonte de carbono orgânico na água, como por exemplo melação de cana-de-açúcar, açúcar refinado ou farelo de arroz (AVNIMELECH, 2015; EKASARI; CRAB; VERSTRAETE, 2010; VILANI et al., 2016). Os insumos necessários durante o cultivo incluem, além do carbono orgânico, a ração para alimentar os camarões, carbono inorgânico para correção da alcalinidade e energia elétrica para aeração e oxigenação suplementares, uma vez que os bioflocos devem ser mantidos em suspensão constante (BROWDY et al., 2012). O manejo adequado do sistema permite maior sustentabilidade ambiental da produção, pois serão alcançadas alta produtividade, baixa demanda de renovação de água, estabilidade dos parâmetros de qualidade da água e ciclagem dos compostos nitrogenados, e melhoria do fator de conversão alimentar, pois os animais



podem se alimentar dos bioflocos (BROWDY et al., 2012; EMERENCIANO; GAXIOLA; CUZO, 2013).

### **1.1.1 Produção de nutrientes no sistema BFT**

Em um sistema de bioflocos, os resíduos são constituídos principalmente pelas partes sólidas e dissolvidas (KOTZEN et al., 2019). Os resíduos sólidos são formados pelas fezes e pela ração não consumida, enquanto os resíduos dissolvidos são os produtos de excreção de processos metabólicos como a amônia e o ortofosfato. Uma vez que os resíduos sólidos entram na água, parte da matéria orgânica será desmineralizada por decompositores e, eventualmente, contribuirá para o acúmulo de nutrientes dissolvidos (CRAB et al., 2007).

#### **1.1.1.1 Compostos nitrogenados**

O nitrogênio (N) é o principal resíduo metabólico do camarão e da decomposição de ração não consumida. Na água, dependendo do pH e temperatura, o  $\text{NH}_3$  (amônia) e o  $\text{NH}_4^+$  (amônio) estão em equilíbrio. A soma dessas duas formas é chamada de nitrogênio amoniacal total (NAT) (AVNIMELECH, 2015). A amônia é altamente tóxica aos camarões e, em água marinha, deve ser mantida em concentrações menores que  $0,16 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$  (ou  $3,95 \text{ mg NAT L}^{-1}$ ) (LIN; CHEN, 2001).

As principais vias para transformação dos compostos nitrogenados no BFT são a assimilação pelas bactérias heterotróficas, a nitrificação e a assimilação fotoautotrófica pelas algas (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Sistemas que apresentam uma mistura dessas três vias metabólicas são chamados de mixotróficos (SAMOCHA; PRANGNELL; CASTRO, 2019).

As bactérias heterotróficas assimilam o nitrogênio amoniacal diretamente na proteína celular e apresentam rápido crescimento (EMERENCIANO et al., 2017). Portanto, no início do ciclo produtivo é exigida uma alta relação carbono:nitrogênio (entre 15 e 20:1) para fertilizar a água e garantir o crescimento dessas bactérias (KOTZEN et al., 2019). Por outro lado, a entrada de ração sem a suplementação com carbono orgânico diminui a relação C:N (em torno de 6:1) e favorece o desenvolvimento de bactérias quimioautotróficas, incluindo as nitrificantes (XU; MORRIS; SAMOCHA, 2016). Na

fase de manutenção a nitrificação é responsável pela assimilação da maior parte da amônia presente na água do cultivo (EMERENCIANO et al., 2017).

O processo de nitrificação é influenciado por uma variedade de parâmetros como pH, temperatura, alcalinidade, salinidade e a disponibilidade de oxigênio e sólidos em suspensão que servirão de substrato para as bactérias nitrificantes (AVNIMELECH, 2015; EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Com o início da nitrificação, o nitrito é formado pela oxidação da amônia por meio das bactérias oxidantes de amônia (BOA) (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). É menos tóxico que a amônia, especialmente em água salgada, e no cultivo de *L. vannamei* deve ser mantido abaixo de 10 mg N-NO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (FURTADO et al., 2016). Ao começar um novo sistema, o aumento da concentração de nitrito pode se tornar um grande problema, pois as bactérias oxidantes de nitrito (BON) se desenvolvem mais tarde, e os picos de NO<sub>2</sub> podem durar mais do que os de NAT (AVNIMELECH, 2015). Contudo, geralmente entre 6 a 8 semanas do início do cultivo as colônias de BON já estão estabelecidas e o nitrito permanece abaixo de 1 mg L<sup>-1</sup> (PRANGNELL; SAMOCHA; STARESINIC, 2019).

O nitrato, a forma menos tóxica dos compostos nitrogenados, é formado pela oxidação do nitrito pelas bactérias oxidantes de nitrito (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Em cultivos de *L. vannamei* com troca zero de água ou sem desnitrificação, há acúmulo de grandes quantidades de nitrato e, em água com salinidade de 30 psu, a concentração de NO<sub>3</sub> na água pode chegar a 400 mg N-NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> sem causar danos ao camarão (PRANGNELL; SAMOCHA; STARESINIC, 2019).

Ao iniciar o cultivo em bioflocos, deve-se levar em consideração que a estabilização da comunidade quimioautotrófica se dá entre 20 a 40 dias após o início do cultivo (KOTZEN et al., 2019). Esse tempo pode ser encurtado, e os picos de NAT e nitrito podem ser evitados, utilizando um inóculo de bioflocos maduro de ciclos produtivos anteriores com a nitrificação estabelecida (KRUMMENAUER et al., 2014) ou fertilizar a água no início do ciclo com sais de amônio e nitrito, para estimular o crescimento das bactérias nitrificantes (FERREIRA et al., 2020).

#### 1.1.1.2 Ortofosfato

O fosfato entra nos sistemas de aquicultura por meio da ração, e ao longo do tempo vai acumulando na água (SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013). A ração

utilizada no cultivo de camarões marinhos contém geralmente entre 0,4% a 2,1% de fósforo (P), enquanto a sua eficiência de assimilação pode variar de 10% a 20%, dependendo do sistema de produção (AVNIMELECH, 2015; CASILLAS-HERNÁNDEZ et al., 2006). Não existem dados disponíveis sobre a toxicidade do ortofosfato em camarões, e valores maiores que 32 mg L<sup>-1</sup> já foram reportados na fase de engorda de *L. vannamei* sem impactar no crescimento e sobrevivência (PRANGNELL; SAMOCHA; STARESINIC, 2019). Entretanto, altas concentrações de fósforo na água podem levar ao aparecimento de grandes quantidades de microalgas (BURFORD et al., 2003). O controle do ortofosfato é feito principalmente pela troca de água e pela remoção de sólidos dos tanques; porém, se não tratado, esse efluente pode causar eutrofização do ambiente circundante (LIN et al., 2005; SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013).

## 1.2 AQUAPONIA

Nos últimos anos, muitas alternativas têm sido investigadas para tratar os efluentes e diminuir o impacto da carcinicultura (VAN RIJN, 2013). O uso de *wetlands* construídos com aplicação de macrófitas aquáticas apresenta êxito no tratamento de efluentes da aquicultura (VYMAZAL, 2007, 2009). No entanto, as espécies vegetais dificilmente tem valor econômico e existe um reduzido aproveitamento da biomassa vegetal produzida, logo, as plantas devem ser retiradas periodicamente para otimizar a remoção de nutrientes (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008).

Os efluentes produzidos nos cultivos aquícolas contém nutrientes que, quando em excesso, podem ser prejudiciais aos organismos produzidos e ao meio ambiente, mas se tornam valiosos quando aproveitados da forma correta (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Por sua vez, a produção de vegetais e frutas irrigados com efluente do cultivo de camarões em baixa salinidade apresenta resultados positivos. Combinando o uso de efluente da carcinicultura com fertilizante comercial foi possível produzir 12,4 t ha<sup>-1</sup> de pimentão e 9,9 t ha<sup>-1</sup> de brócolis (DUFAULT; KORKMAZ, 2000; DUFAULT; KORKMAZ; WARD, 2001). MIRANDA et al. (2008) concluíram que o efluente do cultivo de *L. vannamei* pode fornecer até 1/4 do nitrogênio necessário para a produção de melão. Portanto, a integração de sistemas de produção de alimentos pode reduzir insumos e desperdícios e aumentar os ganhos e a sustentabilidade (FAO, 2016).

Os sistemas que produzem culturas adicionais utilizando subprodutos do cultivo de espécies primárias são chamados de cultivos integrados. Se as culturas secundárias forem aquáticas ou se as plantas terrestres forem cultivadas em conjunto com peixes ou camarões, esta integração é denominada aquaponia (RAKOCY, 2012). Nos anos 1970, um grupo de pesquisadores da Universidade das Ilhas Virgens Americanas (UVI), liderado pelo Dr. James Rakocy, iniciou os testes de utilização de plantas como biofiltros na aquicultura e desenvolveu os primeiros conceitos e dimensionamento básico da aquaponia moderna (GODDEK et al., 2015).

A aquaponia combina componentes do cultivo de animais aquáticos (aquicultura) e do cultivo de plantas sem solo (hidroponia) em um sistema de recirculação (LENNARD; GODDEK, 2019; LOVE et al., 2015), sendo que existe uma relação simbiótica entre o peixe ou camarão cultivado, bactérias e plantas (WONGKIEW et al., 2017). A amônia liberada no cultivo dos animais é convertida a nitrato pelas bactérias nitrificantes; o nitrato, juntamente com o fosfato e outros nutrientes acumulados ao longo do ciclo produtivo, são utilizados para o crescimento das plantas (TYSON; TREADWEL; SIMONNE, 2011). Dentre as vantagens do sistema aquapônico estão a absorção de nutrientes pelas plantas, a redução dos impactos ambientais causados pela descarga de efluentes, a diversificação econômica através do cultivo de produtos com valor agregado e maior rentabilidade por unidade de cultivo (GODDEK et al., 2015; LEKANG, 2019). No futuro, a aquicultura e a aquaponia podem desempenhar um papel importante no enfrentamento da demanda de alimentos de uma crescente população mundial (FAO, 2018).

A estrutura de aquaponia tradicional é composta por um tanque para os animais, um sedimentador para a remoção dos sólidos suspensos, um biofiltro para nitrificação e uma bancada hidropônica para a produção de vegetais, onde as plantas têm contato com a água do cultivo (LENNARD; LEONARD, 2006). Três tipos de estruturas de hidroponia são comumente usados: (i) cama de substrato ou substrato semi-seco, no qual as calhas são preenchidas com substrato inerte (argila expandida, perlita ou cascalho) que servem de suporte para as raízes e substrato microbiano, e são alternadamente alagadas e drenadas; (ii) bandejas flutuantes, também conhecido do inglês como *floating raft* ou *deep water culture* (DWC), é a estrutura mais usada comercialmente e consiste em largos canais com cerca de 50 cm de profundidade e cobertos com bandejas flutuantes de

poliestireno, as quais são perfuradas para colocação das plantas e suas raízes estão em contato com a água todo o tempo; e (iii) sistema de filme nutriente ou NFT (do inglês *Nutrient Film Technique*), que é formado por tubos estreitos paralelos, onde as raízes das plantas permanecem parcialmente submersas em um filme de água que passa através dos canais de irrigação (GODDEK et al., 2015; LENNARD; LEONARD, 2006; RAKOCY, 2012).

### 1.2.1 Aquaponia marinha com uso de plantas halófitas

Apesar da aquaponia em água doce ser a mais praticada e estudada, a limitação do uso da água doce para a produção de alimentos e a salinização dos solos têm aumentado a busca por alternativas, como o cultivo integrado com plantas halófitas (tolerantes à salinidade) em água salobra ou marinha (KOTZEN et al., 2019; VENTURA; SAGI, 2013). Devido às suas características fisiológicas especiais e composição bioquímica, o grupo das plantas halófitas apresenta grande potencial para diversas aplicações. A capacidade de crescer em ambientes salinizados faz com que esses vegetais sejam viáveis para a ciclagem de nutrientes de cultivos aquícolas marinhos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013; FLOWERS; COLMER, 2008).

O uso de água salina em aquaponia é uma tecnologia relativamente nova. Os termos “maraponia” (ou seja, aquaponia marinha; do inglês *maraponics* ou *marine aquaponics*) e “haloponia” (derivada da palavra latina *halo* que significa sal; do inglês *haloponics*) foram cunhados para aquaponia utilizando água do mar ou água salobra (GUNNING; MAGUIRE; BURNELL, 2016; KOTZEN et al., 2019). Recentemente, vários estudos mostraram que espécies de halófitas como *Salicornia europaea*, *Salicornia bigelovii*, *Sarcocornia ambigua* e *Batis maritima* podem ser irrigadas com sucesso com águas residuais de aquicultura marinha, usando técnicas de hidroponia ou como parte de um sistema de recirculação aquícola (BOXMAN et al., 2017; BUHMANN et al., 2015; GUNNING; MAGUIRE; BURNELL, 2016; WALLER et al., 2015).

#### 1.2.1.1 *Sarcocornia ambigua*

Os gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* são de grande interesse no mercado mundial da alta gastronomia por seu sabor levemente salgado e elevado valor nutricional (BARREIRA et al., 2017; BERTIN et al., 2014), sendo consumidas *in natura*, em

conserva ou como tempero (VENTURA; SAGI, 2013). Essas plantas crescem ao longo de ambientes influenciados pelo alagamento periódico por água salgada, manguezais e marismas, e são conhecidas popularmente como salicórnia, aspargo-do-mar, erva-sal, *sea asparagus*, *samphire* ou *glasswort* (COSTA, 2006; IZEPPPI, 2011). No século XVIII, a salicórnia era consumida na forma de conserva pelos marinheiros nos navios e, desde a Idade Média, os árabes já a utilizavam para produzir a soda que era empregada na fabricação do vidro (CHEVALIER, 1922). Além disso, essas plantas oferecem uma vasta gama de produtos derivados e diversas utilizações, como forragem para animais, produção de fármacos, biorremediação de áreas salinizadas e extração de óleo das sementes para uso industrial (DÍAZ; BENES; GRATTAN, 2013; TIKHOMIROVA et al., 2008; VENTURA et al., 2014). Apesar de ainda não ter comércio consolidado no Brasil, a salicórnia é facilmente encontrada na Europa, onde é vendida por cerca de 18 euros o quilo (CASTILHO-BARROS et al., 2018; KOTZEN et al., 2019).

Existe uma grande diversidade de halófitas nativas com potencial biotecnológico e econômico para produção de alimentos e de substâncias bioativas (COSTA et al., 2018; COSTA; BONILLA, 2016). No Brasil, há a ocorrência da espécie *Sarcocornia ambigua* (família Amaranthaceae), uma planta herbácea perene nativa da costa atlântica da América do Sul e caracterizada pela morfologia simples, uma vez que produz somente brotos suculentos aparentemente sem folhas (ALONSO; CRESPO, 2008). Os caules e as sementes desta espécie apresentam elevada qualidade nutricional, com altos teores minerais e compostos fenólicos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, características que a enquadram como alimento funcional (BERTIN et al., 2014, 2016).

No Brasil, o primeiro cultivo experimental de salicórnia irrigada com efluente da carcinicultura marinha foi realizado no nordeste em 2005, onde foram produzidas quase 9 toneladas de plantas por hectare em aproximadamente seis meses (COSTA, 2006; COSTA; BONILLA, 2016). A partir daí, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para determinar as condições ideais de cultivo para obter maior produtividade e melhor aproveitamento dos recursos na produção integrada de camarão e salicórnia (FIERRO-SAÑUDO; DE OCA; PÁEZ-OSUNA, 2020).

### 1.3 DESAFIOS DA AQUAPONIA MARINHA COM BIOFLOCOS

A fim de diminuir o custo de instalação e operação de um biofiltro e simplificar a estrutura aquapônica, o ideal é combinar os componentes de remoção de sólidos, nitrificação e hidroponia em uma única unidade (RAKOCY, 2012). Assim, uma forma de atingir esse objetivo é a aplicação do sistema de bioflocos na aquaponia (KOTZEN et al., 2019). Ademais, a presença de uma diversa comunidade microbiana e a variedade de nutrientes, oriundos da ração não consumida e da excreta dos animais, contribuem para a nutrição das plantas (EMERENCIANO; GAXIOLA; CUZO, 2013). A integração do bioflocos com a produção hidropônica é um dos tipos alternativos de aquaponia, e recentemente passou a ser chamado de *FLOCponics* (junção dos termos em inglês *biofloc* e *aquaponics*) (PINHO et al., 2021).

Na Universidade Federal de Santa Catarina as pesquisas sobre o cultivo em aquaponia de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos iniciaram em 2011 no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) (PEREIRA, 2012) e, desde então, diversos experimentos têm demonstrado que essa integração pode aumentar a produtividade e promover maior ganho ecológico devido à ciclagem dos nutrientes. No primeiro estudo, PINHEIRO et al. (2017) reportaram produtividade de 8 kg m<sup>-2</sup> de salicórnia, correspondendo a 2 kg de plantas para cada quilo de camarão produzido. Além disso, os autores afirmam que o uso do nitrogênio foi 25% mais eficiente no cultivo integrado. Por outro lado, o tempo de irrigação pode influenciar na produtividade das plantas e na concentração de compostos bioativos. SILVA (2016) determinou que com 12 horas de irrigação diária é possível alcançar maior quantidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante em *S. ambigua*, sem prejudicar a produção de plantas e camarões. SOARES (2017) observou que alimentar o camarão *L. vannamei* diariamente com 50 g de ração para cada m<sup>2</sup> de área de plantio é suficiente para obter produtividade de *S. ambigua* de 1,1 kg m<sup>-2</sup>. Em cultivo integrado de *S. ambigua*, *L. vannamei* e tilápia (*Oreochromis niloticus*) foi possível produzir 2,3 kg m<sup>-2</sup> de plantas e otimizar o uso dos nutrientes (POLI et al., 2019).

Entretanto, ainda existem muitas variáveis que precisam ser estudadas para obter maior produtividade no cultivo integrado de salicórnia e camarão em bioflocos como a salinidade, exigência de macro e micronutrientes, regimes de luz e hidráulica, densidade de plantas e diferentes estruturas de cultivo.

### 1.3.1 Influência da salinidade

Muitas espécies de halófitas não só toleram a salinidade, como seu crescimento é estimulado na presença de sal, e podem reter grande quantidade de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , principalmente nos brotos (FLOWERS; COLMER, 2008; KUDO; FUJIYAMA, 2010). Entretanto, algumas espécies diferem no seu grau de tolerância à salinidade e a concentração salina ideal para o desenvolvimento dessas plantas é aquela igual ou inferior à da água do mar (REDONDO-GÓMEZ et al., 2006; VENTURA et al., 2014).

Em um sistema aquapônico marinho, tanto o desenvolvimento das plantas quanto dos camarões pode ser afetado. O potencial produtivo de uma planta halófitas pode ser determinado pela espécie e a salinidade à qual ela é submetida durante o cultivo (VENTURA et al., 2011; VENTURA; SAGI, 2013). Halófitas da família Amaranthaceae, como a *S. ambigua*, tem seu crescimento estimulado na presença de NaCl, sendo a salinidade entre 150 e 300 mM NaCl ideal para seu desenvolvimento (aproximadamente 8 a 17 psu) (ROZEMA; SCHAT, 2013; VENTURA et al., 2011). Ademais, a salinidade da solução pode interferir na preferência de *S. ambigua* na absorção de diferentes formas de nitrogênio, pois esse gênero pode utilizar nitrato como também amônia (QUINTÃ et al., 2015). Em condições de moderada salinidade, a assimilação de  $\text{NO}_3^-$  pode diminuir, e o uso de  $\text{NH}_4^+$  se torna mais favorável para o crescimento dessa halófitas (KUDO; FUJIYAMA, 2010).

O camarão necessita de minerais para manter o metabolismo basal e seu crescimento (VALENZUELA-MADRIGAL et al., 2017). Embora seja uma espécie eurialina, *L. vannamei* pode sobreviver e crescer bem em água com baixa salinidade, desde que a proporção de íons como sódio, potássio e magnésio seja próxima à encontrada na água do mar (DAVIS et al., 2005). Todavia, o crescimento do camarão marinho é incrementado em salinidade entre 15 e 25 psu (BOYD, 1989), e o ponto isosmótico do camarão-branco-do-Pacífico, ou seja, a salinidade na qual a osmolaridade (salinidade) do meio externo e a dos fluidos internos (hemolinfa) são iguais, varia de 24,7 a 26 psu (CASTILLE; LAWRENCE, 1981).



### 1.3.2 Influência dos sólidos suspensos totais

Uma das preocupações do cultivo de plantas em aquaponia com bioflocos é o manejo da concentração de sólidos da água, pois esses podem afetar severamente as raízes e impactar a absorção de nutrientes e a disponibilidade de oxigênio, resultando em menor produtividade (KOTZEN et al., 2019). Além disso, a concentração de sólidos suspensos totais (SST) no cultivo de *L. vannamei* deve ser mantida entre 400 e 600 mg L<sup>-1</sup>, pois o excesso de sólidos em suspensão pode causar danos às brânquias dos camarões e deve ser removido (SCHVEITZER et al., 2013).

A retirada de SST da água com o auxílio de sedimentadores é uma prática comum nos cultivos de camarões marinhos em BFT (GAONA et al., 2011; RAY et al., 2010). A sedimentação da matéria orgânica ocorre devido à diferença de densidade entre a água e os bioflocos, que são depositados no fundo do sedimentador devido à gravidade (TIMMONS; EBELING, 2010). Em cultivos aquapônicos o uso do sedimentador pode se tornar praticamente dispensável, pois a alta atividade microbiana no processo de mineralização da matéria orgânica degrada os sólidos retidos na estrutura hidropônica para liberar nutrientes que são absorvidos pelos vegetais, simulando as condições de crescimento naturais encontradas no solo (GODDEK et al., 2015; PINHEIRO et al., 2017; PINHO et al., 2017; RAKOCY, 2012).

No entanto, o uso constante do sedimentador pode quebrar os sólidos em partículas menores não-sedimentáveis e remover a biomassa de bactérias nitrificantes do cultivo, resultando na instabilidade dos parâmetros de qualidade da água, como o acúmulo gradual de amônia e nitrito e redução da concentração de nitrato (HARGREAVES, 2013; HU et al., 2015; RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Além disso, a desnitrificação é um processo comum na aquicultura e na aquaponia, pois o acúmulo de sólidos finos no sedimentador pode levar à condições anoxias entre a camada de lodo e promover a proliferação e atividade de bactérias desnitrificantes, aumentando o pH e gerando alcalinidade (RAY et al., 2010; WONGKIEW et al., 2017). Essas bactérias são capazes também de assimilar ortofosfato, reduzindo a disponibilidade desse nutriente para as plantas (RAKOCY, 2012; RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Logo, o manejo adequado da concentração de sólidos no cultivo gera uma comunidade bacteriana mais estável e, consequentemente, melhores condições para o cultivo de camarões e plantas (KOTZEN et al., 2019; RAY; DILLON; LOTZ, 2011).

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar estratégias de cultivo visando a otimização da produção de camarão (*Litopenaeus vannamei*) e salicórnia (*Sarcocornia ambigua*) em sistema de aquaponia com bioflocos.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Avaliar a relação da salinidade com a performance do camarão-branco-do-Pacífico e *Sarcocornia ambigua* cultivados em sistema de aquaponia com bioflocos.
- b. Avaliar o efeito do uso contínuo do sedimentador de sólidos no cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e da halófito *Sarcocornia ambigua* em um sistema de aquaponia com bioflocos.

## 1.5 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho é composto por dois capítulos:

Capítulo 1: artigo intitulado “Produção aquapônica de *Sarcocornia ambigua* e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades”, publicado na revista *Aquaculture*, conceito Qualis/CAPES A2.

Capítulo 2: artigo intitulado “Efeito do uso de sedimentador de sólidos no cultivo de *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com bioflocos”, a ser submetido para publicação na revista *Aquaculture International*, conceito Qualis/CAPES B1.

## **2 Produção aquapônica de *Sarcocornia ambigua* e camarão-branco-do-Pacífico em sistema de bioflocos com diferentes salinidades**

Isabela Pinheiro<sup>a</sup>, Ramon Felipe Siqueira Carneiro<sup>a</sup>, Felipe do Nascimento Vieira<sup>a</sup>, Luciano Valdemiro Gonzaga<sup>b</sup>, Roseane Fett<sup>b</sup>, Ana Carolina de Oliveira Costa<sup>b</sup>, Francisco Javier Magallón-Barajas<sup>c</sup>, Walter Quadros Seiffert<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos. Serv. dos Coroas, 503, Barra da Lagoa, Florianópolis, SC, Brazil. CEP. 88061-600

<sup>b</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Química de Alimentos. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis, SC, Brazil. CEP. 88034-000

<sup>c</sup>Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste (CIBNOR). Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, CP. 23096, Mexico.

Artigo publicado na revista *Aquaculture*, conceito Qualis/CAPES A2.

PINHEIRO, Isabela *et al.* Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. **Aquaculture**, v. 519, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734918>.

## 2.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre a salinidade e o desempenho do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e da planta halófito *Sarcocornia ambigua* em um sistema de aquaponia com bioflocos. O experimento foi conduzido por 57 dias, e quatro tratamentos foram avaliados: 8 psu (*practical salinity unity*), 16 psu, 24 psu e 32 psu, com três repetições. Cada unidade experimental consistia em um tanque de 800 L para o cultivo dos camarões, um sedimentador de 40 L e uma bancada hidropônica de 0,3 m<sup>2</sup> de área de plantio e densidade de 40 plantas m<sup>-2</sup>. A água do tanque foi bombeada continuamente para o sedimentador, e o sobrenadante foi distribuído na bancada hidropônica para irrigar as plantas, retornando ao tanque por gravidade. Os tanques foram povoados com 300 camarões m<sup>-3</sup> (1.6 ± 0.1 g). Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial contendo 38% de proteína bruta. A salinidade afetou a sobrevivência dos camarões, que foi menor no tratamento 8 psu (56.3 ± 4.7%). Não foi detectada relação da salinidade com nenhum dos parâmetros de produção das plantas; entretanto, a maior biomassa foi produzida em 16 psu, a qual está próxima ao ponto isosmótico de *S. ambigua*. As menores concentrações de amônia e nitrito e a maior concentração de nitrato foram encontradas, através da interpolação dos dados, próximas à salinidade 18 psu. Dessa forma, é possível que, nesta salinidade, a absorção de amônia pelas plantas é favorecida. A salinidade também afetou a concentração de ortofosfato dissolvido. Não foi encontrada relação entre a salinidade e a produção de compostos fenólicos e atividade antioxidante nas plantas. O cultivo integrado de *L. vannamei* com *S. ambigua* pode ser realizado em salinidades entre 16 e 24 psu, uma vez que a performance do camarão não é prejudicada, e o crescimento das plantas e a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados são favorecidos nessa faixa de salinidade.

**Palavras-chave:** cultivo integrado, *Litopenaeus vannamei*, aquaponia marinha, qualidade de água, AMTI.

## 2.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the relationship between salinity in the performance of marine shrimp *Litopenaeus vannamei* and halophyte plant *Sarcocornia ambigua* in an aquaponic system with biofloc. The experiment was conducted for 57 days, and four treatments were evaluated: 8 psu (practical salinity unity), 16 psu, 24 psu, and 32 psu, with three replicates. Each experimental unit consisted of an 800 L tank for shrimp rearing, a 40 L settling chamber and a hydroponic bench of 0.3 m<sup>2</sup> of planting area and density of 40 plants m<sup>-2</sup>. The tank water was continuously pumped to the settling chamber, and the supernatant was distributed on the hydroponic bench to irrigate the plants, returning to the tank by gravity. The tanks were stocked with 300 shrimp m<sup>-3</sup> (1.6±0.1 g). The shrimp were fed four times daily with a commercial diet containing 38% crude protein. Salinity affected shrimp survival, which was lower in 8 psu treatment (56.3±4.7%). No salinity relationships were detected with any of the plant performance parameters; however, the highest biomass was produced at 16 psu, which is close to the isosmotic point of *S. ambigua*. The lowest concentrations of ammonia and nitrite and the highest concentrations of nitrate were found, through the interpolation of the data, near the 18 psu salinity. So, it is suggested that in this salinity, the absorption of ammonia by the plants is favored. The salinity also affected the concentration of dissolved orthophosphate. There was no relationship between salinity and the production of phenolic compounds and antioxidant activity in plants. The integrated cultivation of *L. vannamei* with *S. ambigua* can be carried out between salinities of 16 and 24 psu since the performance of the shrimp is not impaired, and the growth of the plants and the removal of nitrogen and phosphate compounds are favored in this range of salinity.

**Keywords:** integrated culture; *Litopenaeus vannamei*; marine aquaponic; water quality; IMTA.

## 2.3 INTRODUÇÃO

A aquicultura tem grande importância para eliminação da fome, na melhoria da saúde e proporcionando emprego. No entanto, para usar os recursos com mais eficiência, a integração de sistemas de produção de alimentos pode reduzir insumos e desperdícios e aumentar os ganhos e a sustentabilidade (FAO, 2016). Essa integração pode ser realizada por meio da aquaponia, que é a produção simultânea de animais aquáticos (aquicultura) e o cultivo de plantas sem solo (hidroponia) em um sistema de recirculação (LOVE et al., 2015; RAKOCY, 2012).

Em um sistema de aquaponia, existe uma relação simbiótica entre o peixe ou camarão cultivado, bactérias e plantas (WONGKIEW et al., 2017). As bactérias transformam os compostos nitrogenados e fosfatados excretados pelos animais em formas que podem ser absorvidas pelas plantas (CEROZI; FITZSIMMONS, 2017; HU et al., 2015). Além de melhorar a eficiência de remoção de nutrientes, esse sistema pode também reduzir o uso de água e a liberação de efluentes no meio ambiente, e incrementar a renda através da produção simultânea de duas culturas (ENDUT; JUSOH; ALI, 2013; FAO, 2019).

Adicionalmente, na presença de uma diversa comunidade microbiana a aquaponia pode ser mais eficiente (EMERENCIANO; GAXIOLA; CUZO, 2013; KOTZEN et al., 2019). A tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) foi criada para maximizar a produção aquícola com menos impacto ambiental (CRAB et al., 2012), e tem como características alta densidade de estocagem, troca limitada de água e o acúmulo de flocos microbianos (AVNIMELECH, 2015; EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Neste sistema, um dos caminhos para a remoção da amônia é por meio da conversão autotrófica para nitrato (MARTÍNEZ-CÓRDOVA et al., 2015). Assim, no final do cultivo, menos efluente é formado, mas com altas concentrações de compostos nitrogenados (QUINTÃ et al., 2015). Dessa forma, uma alternativa é a ciclagem dos nutrientes na aquaponia, para a produção de vegetais (PINHEIRO et al., 2017; PINHO et al., 2017; ROCHA et al., 2017).

Para a integração da hidroponia com a aquicultura marinha, plantas tolerantes à salinidade, ou halófitas, devem ser utilizadas (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Halófitas como a *Sarcocornia ambigua*, também conhecida como salicornia, erva-sal, aspargo-do-mar ou *samphire*, de ocorrência em Santa Catarina, Brasil (BERTIN et al., 2014; PIIRAINEN; LIEBISCH; KADEREIT, 2017) são reconhecidas por serem cultivadas em áreas onde a concentração de sal seria letal para a maioria das espécies (FLOWERS; COLMER, 2008). O

sucesso no desenvolvimento de plantas halófitas em aquaponia com o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em bioflocos já foi demonstrado. PINHEIRO *et al.* (2017) reportaram produtividade de 8 kg m<sup>-2</sup> de *S. ambigua*, o equivalente a 2 kg de planta para cada quilo de camarão produzido.

Muitas espécies de halófitas não só toleram a salinidade, como seu crescimento é estimulado na presença de sal, e podem reter grande quantidade de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, principalmente nos brotos (FLOWERS; COLMER, 2008; KUDO; FUJIYAMA, 2010). Entretanto, algumas espécies diferem no seu grau de tolerância à salinidade e a concentração salina ideal para o desenvolvimento dessas plantas é aquela igual ou inferior à da água do mar (REDONDO-GÓMEZ *et al.*, 2006; VENTURA *et al.*, 2014).

Em um sistema aquapônico marinho, tanto o desenvolvimento das plantas quanto dos camarões pode ser afetado. A salinidade da solução pode interferir na preferência de *S. ambigua* na absorção de diferentes formas de nitrogênio, pois esse gênero pode utilizar nitrato como também amônia (QUINTÃ *et al.*, 2015). Em condições de moderada salinidade, a assimilação de NO<sub>3</sub> pode diminuir, e o uso de NH<sub>4</sub> se torna mais favorável para o crescimento dessa halófito (KUDO; FUJIYAMA, 2010). Além disso, o camarão necessita de minerais para manter o metabolismo basal e seu crescimento (VALENZUELA-MADRIGAL *et al.*, 2017). *L. vannamei* pode sobreviver e crescer bem em água com baixa salinidade, desde que a proporção de íons seja próxima à encontrada na água do mar (DAVIS *et al.*, 2005). Todavia, o crescimento do camarão marinho é incrementado em salinidade entre 15 e 25 psu (*practical salinity unit*) (BOYD, 1989). Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a relação da salinidade com a performance do camarão-branco-do-Pacífico e *Sarcocornia ambigua* cultivados em sistema de aquaponia com bioflocos.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 Material biológico

#### 2.4.1.1 Camarão

O experimento foi conduzido no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina, sul do Brasil. Pós-larvas de *Litopenaeus vannamei* foram adquiridas de um laboratório comercial (Aquatec Ltda., RN, Brasil) e a fase de berçário foi realizada em sistema intensivo de bioflocos (com densidade de estocagem de 1000 camarões

m<sup>-3</sup>) em um tanque circular de fibra de vidro com volume útil de 40 m<sup>3</sup> com salinidade média de 33 psu até que os camarões atingiram cerca de 1 g. Os camarões foram alimentados seis vezes ao dia com dieta comercial contendo 40% de proteína bruta (Poti Mirim PL40, Guabi, Brasil). Uma fonte orgânica de carbono (melaço de cana-de-açúcar) foi adicionada quando o nitrogênio amoniacal total esteve acima de 1 mg L<sup>-1</sup>, numa proporção de 6 gramas de carbono para neutralizar cada grama de amônia. A temperatura foi mantida em 28 ± 1°C e o oxigênio dissolvido acima de 5 mg L<sup>-1</sup>. Uma semana antes do início do experimento, os camarões do berçário foram aclimatados para a salinidade 20 psu para que fosse feito o povoamento nas unidades experimentais.

#### 2.4.1.2 Plantas

As mudas foram produzidas por meio de propagação vegetativa por estaquia. Plantas de *Sarcocornia ambigua* de um canteiro do LCM foram cortadas em estacas de 10 cm, com o ramo principal sem folhas e cortado em bisel na parte superior. Essas estacas foram plantadas em bandejas de poliestireno com 128 células, usando como substrato uma mistura de terra adubada, areia e perlita, numa proporção de 1:1:1. Essas bandejas foram alocadas em uma sala escura, e as mudas foram irrigadas com água potável a cada dois dias. Após um mês as estacas começaram a receber luz do sol pela manhã e passaram a ser irrigadas a cada dois dias com água do mar diluída em 50%, permanecendo nessas condições por mais 30 dias. Após esse período, 144 mudas foram pesadas individualmente (peso médio 3,9 ± 0,9 g) e transferidas para o sistema aquapônico.

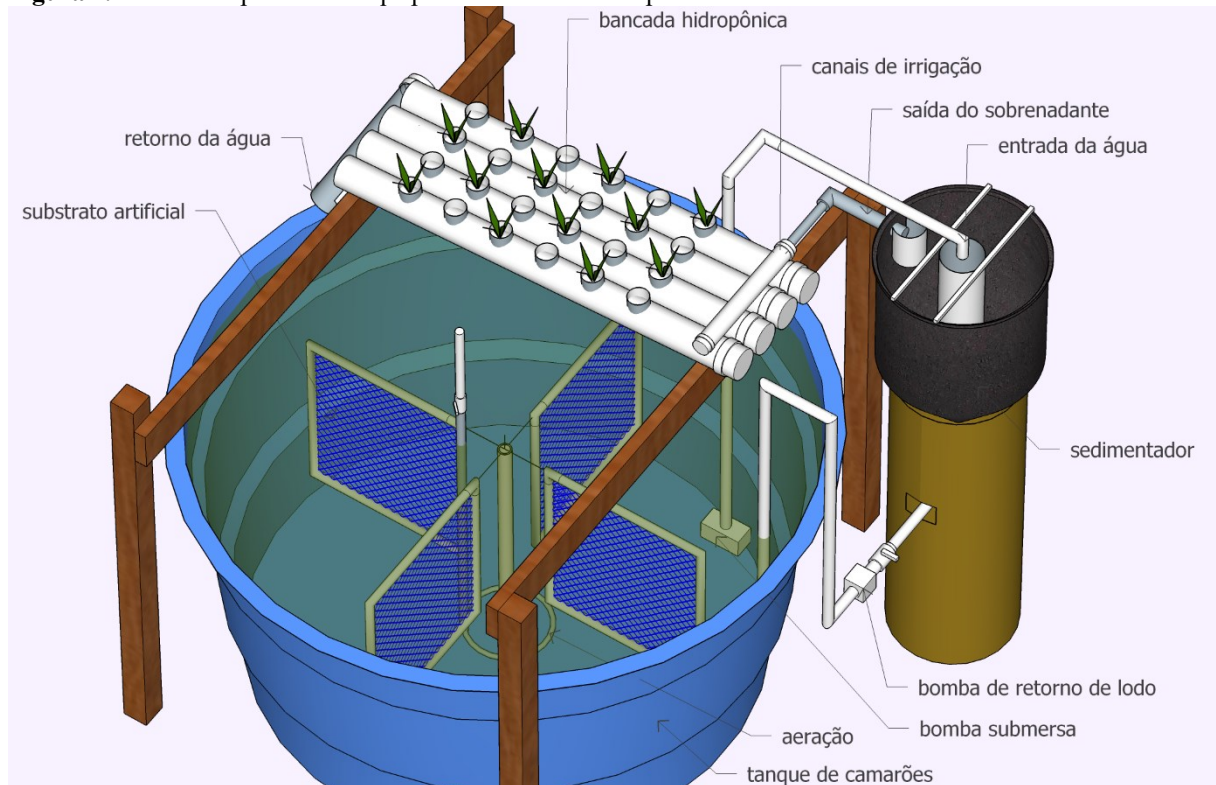
#### 2.4.2 Desenho experimental, unidades experimentais e manejo do sistema

O experimento consistiu em avaliar quatro diferentes salinidades no cultivo do camarão *L. vannamei* e da halófito *S. ambigua* em aquaponia: 8 psu, 16 psu, 24 psu e 32 psu. Cada tratamento possuía três repetições, totalizando doze unidades experimentais que foram distribuídas aleatoriamente em uma estufa de 243 m<sup>2</sup>.

Cada unidade experimental aquapônica era formada por um tanque circular de polietileno de 800 L de volume útil, com aquecedor de titânio, aeração e substratos artificiais para o cultivo do camarão; um sedimentador de 40 L e uma bancada hidropônica para as plantas (Figura 1). Cada tanque foi coberto com sombrite (50% de sombreamento).



**Figura 1.** Unidade experimental aquapônica utilizada no experimento.



Fonte: Adaptada de PINHEIRO et al. (2017).

Um dia antes do início do experimento os tanques foram preenchidos com um inóculo de 400 L de água com bioflocos do tanque berçário, com salinidade 20 psu. Essa água apresentava concentração de sólidos suspensos totais de  $460,0 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrogênio amoniacal total de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrito de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrato de  $9,8 \text{ mg L}^{-1}$  e ortofosfato de  $2,2 \text{ mg L}^{-1}$ . Esse biofoco já estava em estágio quimioautotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido. Dessa forma, durante o experimento não foi necessária a adição de carbono orgânico para a manutenção dos parâmetros de qualidade de água (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Cada unidade experimental foi então povoada com 240 camarões com peso médio de  $1,6 \pm 0,1 \text{ g}$ , representando densidade de estocagem de  $300 \text{ camarões m}^{-3}$ . Os camarões foram lentamente aclimatados. Água doce potável e água do mar filtrada foram adicionadas nos tanques para atingir o volume de 800 L e a salinidade desejada em cada tratamento, numa taxa de 2 psu por hora, de acordo com o protocolo proposto por VAN WYK (1999a).

Os cátions principais ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) foram analisados para caracterizar o conteúdo mineral na água de cada tratamento e a água do mar utilizada no experimento (Tabela 1). Amostras de água foram coletadas e congeladas no início do experimento. Antes da análise, as amostras foram centrifugadas a 14000 RPM (modelo MiniSpin Plus, Eppendorf, Alemanha)

e então diluídas com água deionizada (sistema Milli-Q, Millipore, EUA). Os ensaios foram conduzidos em sistema de eletroforese capilar (modelo 7100, Agilent Technologies, EUA), seguindo a metodologia proposta por RIZELIO *et al.* (2012).

**Tabela 1.** Concentrações (média  $\pm$  desvio padrão) e proporções dos principais íons da água do mar e água nos tanques de *Litopenaeus vannamei* no sistema de aquaponia com diferentes salinidades.

Íons	Tratamento				Água do mar
	8 psu	16 psu	24 psu	32 psu	
K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	366,8 $\pm$ 72,4	285,0 $\pm$ 32,1	734,0 $\pm$ 2,3	797,8 $\pm$ 7,4	674,0 $\pm$ 126,4
Na <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	3145,9 $\pm$ 305,1	5365,2 $\pm$ 309,6	11208,0 $\pm$ 359,3	13735,3 $\pm$ 616,5	18644 $\pm$ 1644,8
Ca <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	318,5 $\pm$ 47,9	406,4 $\pm$ 18,7	1007,0 $\pm$ 47,7	1033,8 $\pm$ 64,2	1164,4 $\pm$ 43,2
Mg <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	357,6 $\pm$ 62,1	679,8 $\pm$ 27,3	1319,2 $\pm$ 43,8	1448,0 $\pm$ 155,5	2166,4 $\pm$ 100,2
Na:K	8,7:1	18,9:1	15,3:1	17,2:1	27,9:1
Ca:K	0,9:1	1,4:1	1,4:1	1,3:1	1,8:1
Mg:Ca	1,1:1	1,7:1	1,3:1	1,4:1	1,9:1
Mg:K	1,0:1	2,4:1	1,8:1	1,8:1	3,3:1

Fonte: elaborada pela autora.

A estrutura de aquaponia foi construída e operada de acordo com PINHEIRO *et al.* (2017). Na bancada hidropônica para crescimento das plantas, os canais de irrigação eram formados por quatro tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 1,10 m de comprimento, acomodados lado a lado em suportes de madeira com 4% de inclinação. Cada bancada tinha 0,3 m<sup>2</sup> de área de plantio, e doze mudas de *S. ambigua* foram utilizadas em cada unidade experimental, correspondendo a uma densidade de 40 plantas m<sup>-2</sup>. Um sedimentador de 40 L foi utilizado antes da irrigação, para proteger as raízes do excesso de sólidos do tanque de camarão. A água do tanque foi bombeada continuamente para o sedimentador numa vazão de 3,0 L min<sup>-1</sup> utilizando uma bomba submersa (modelo SB650, Sarlo Better, Brasil), e distribuída em cada canal por gravidade. Após irrigar as plantas, a água retornava ao tanque também por gravidade. Para manter a concentração adequada de sólidos suspensos na água do cultivo de camarões (SCHVEITZER *et al.*, 2013) a cada trinta minutos o lodo acumulado no sedimentador era bombeado por 40 segundos de volta ao tanque por meio de uma eletrobomba (modelo EBE 01, Emicol, Brasil) conectada à saída inferior do sedimentador, numa vazão de 15 L min<sup>-1</sup>.

Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia (8 h, 11 h, 14 h e 17 h) com dieta comercial contendo 38% de proteína bruta (Poti Mirim QS 1.6 mm, Guabi, Brasil). A quantidade foi fornecida de acordo com a tabela de alimentação proposta por VAN WYK (1999b). Em cada alimentação, cerca de 20% da quantidade de ração era colocada em bandejas para avaliar o consumo. Semanalmente 24 camarões de cada unidade experimental eram amostrados e pesados para ajustar a quantidade de ração. Hidróxido de cálcio foi adicionado

quando a alcalinidade esteve abaixo de  $120 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , numa proporção de 20% da ingestão diária de ração. Ao longo do período experimental não houve renovação de água, e apenas o volume perdido por evaporação foi repostado, para manter a salinidade de cada tratamento. O experimento durou oito semanas e foi conduzido de 23 de fevereiro a 23 de abril de 2018, totalizando 57 dias. A intensidade luminosa não foi controlada, e foi medida acima das plantas diariamente a cada hora (entre 8 h e 18 h), variando de 96,0 a  $1360,3 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . O fotoper\u00edodo natural durante o experimento era de 13 horas de luz.

### 2.4.3 Vari\u00e1veis de qualidade da \u00e1gua

Durante o experimento, oxig\u00eanio dissolvido e temperatura eram monitorados duas vezes ao dia, \u00e0s 8 h e 17 h (ox\u00edmetro modelo Pro20, YSI, EUA). A salinidade foi medida diariamente pela manh\u00e3 (condutiv\u00edmetro modelo EC300A, YSI, EUA). As an\u00e1lises de pH (pHmetro modelo TEC-11, Tecnal, Brasil), s\u00f3lidos suspensos totais (SST), s\u00f3lidos suspensos vol\u00e1teis (SSV), alcalinidade (APHA, 2005), nitrog\u00eanio amoniacal total (NAT) e nitrito (STRICKLAND; PARSONS, 1972) foram conduzidos duas vezes por semana. Nitrato (m\u00e9todo de redu\u00e7\u00e3o do c\u00e1dmio NitraVer<sup>®</sup> 5, Hach, EUA) e ortofosfato dissolvido (STRICKLAND; PARSONS, 1972) foram analisados uma vez por semana.

### 2.4.4 \u00cdndices de desempenho dos camar\u00f5es

Ap\u00f3s o per\u00edodo experimental, os seguintes \u00cdndices zoot\u00e9cnicos foram avaliados:

- Sobreviv\u00eancia (%) =  $[\text{n\u00famero final de animais} / \text{n\u00famero inicial de animais}] * 100$
- Peso m\u00e9dio final (g) =  $\text{biomassa (g)} / \text{n\u00famero final de animais}$
- Ganho em peso semanal (gramas por semana) =  $\{[\text{peso m\u00e9dio final (g)} - \text{peso m\u00e9dio inicial (g)}] / \text{dias de cultivo}\} * 7$
- Biomassa final ( $\text{g tanque}^{-1}$ ) =  $\text{Biomassa total despescada por tanque}$
- Produtividade ( $\text{kg m}^{-3}$ ) =  $\text{Biomassa final (kg)} / \text{volume do tanque (m}^3\text{)}$
- Fator de convers\u00e3o alimentar (FCA) =  $\text{consumo de r\u00e7\u00e3o (g)} / \text{ganho de biomassa (g)}$
- Consumo de r\u00e7\u00e3o ( $\text{kg tanque}^{-1}$ ) =  $\text{Quantidade total de r\u00e7\u00e3o adicionada em cada tanque}$

#### 2.4.5 Índices de produção das plantas

Ao final do cultivo, a parte aérea de cada planta foi pesada individualmente. As raízes foram descartadas por apresentarem um emaranhado de raízes, perlita e tela de suporte que não podia ser quantificado. O peso médio final (g), a biomassa final (kg) e a produção ( $\text{g m}^{-2}$ ) foram então calculados.

#### 2.4.6 Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo

Para determinar o conteúdo de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (AOAC INTERNATIONAL, 2005) e o fósforo total (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), 50 gramas de ração e, após a despesca, 100 gramas de camarão e 50 gramas de *Sarcocornia* foram coletados de cada unidade experimental.

A eficiência de uso do nitrogênio (EUN, %) e a eficiência de uso do fósforo (EUF, %) foram calculadas usando o ganho de biomassa do camarão (g), a biomassa fresca das plantas (parte aérea, g), o consumo de ração (g) e o conteúdo de NTK (%) e fósforo (%) do camarão, plantas e ração.

#### 2.4.7 Análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais em *Sarcocornia ambigua*

Amostras de *S. ambigua* foram preparadas separando os brotos dos caules e então trituradas em gral com nitrogênio líquido. Os extratos de planta de cada unidade experimental foram preparados utilizando 10 g de amostra fresca (parte aérea) com 25 mL de metanol em banho ultrassônico (modelo 1400a, Unique, Brasil) em temperatura ambiente por uma hora. Em seguida, foram centrifugados a 10000 RPM por 5 minutos (modelo MiniSpin Plus, Eppendorf, Alemanha). O sobrenadante foi então recuperado para execução das análises.

A capacidade antioxidante foi estimada pelo método de sequestro do radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) de acordo com BRAND-WILLIANS; CUVELIER; BERSET (1995) e foi expressa em peso fresco como micromols de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox por 100 g de matéria fresca ( $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (BERTIN et al., 2014).

O conteúdo fenólico total foi determinado por espectrofotômetro de acordo como o método Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965). A absorbância foi lida a 765 nm, e os resultados comparados com a curva padrão de solução de ácido gálico e expressos em peso

fresco como miligramas equivalentes ao ácido gálico por 100 g de matéria fresca (mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MF).

#### 2.4.8 Análise estatística

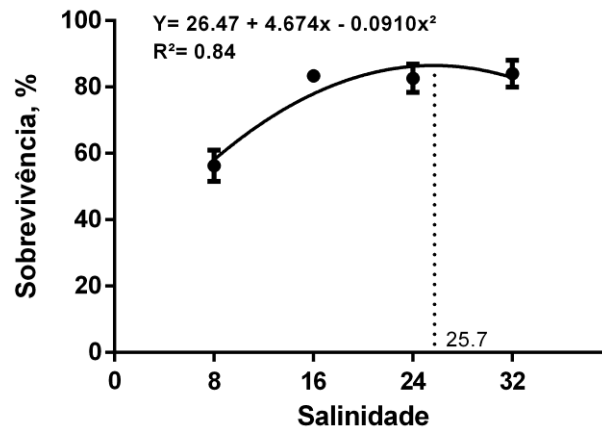
Os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial de segunda ordem ( $\alpha=0,05$ ) (YOSSA; VERDEGEM, 2015) usando o software GraphPad Prism versão 6.01, e as salinidades interpoladas (isto é, os pontos máximo e mínimo de cada variável) foram estimados derivando a equação quadrática.

### 2.5 RESULTADOS

#### 2.5.1 Performance de *Litopenaeus vannamei*

A salinidade afetou a sobrevivência do camarão, e o valor máximo, de acordo com a interpolação, foi encontrado na salinidade 25,7 psu (Figura 2) O peso médio final e o ganho em peso semanal não foram afetados pelas salinidades avaliadas (Tabela 2).

**Figura 2.** Regressão quadrática dos dados de sobrevivência de *Litopenaeus vannamei* cultivado nas salinidades 8 psu, 16 psu, 24 psu e 32 psu. A linha pontilhada vertical indica o ponto máximo obtido pela derivação da equação.



Fonte: elaborada pela autora.

**Tabela 2.** Índices de produção de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia em diferentes salinidades durante 57 dias com densidade de estocagem de 300 camarões m<sup>-3</sup>.

Parâmetro	Tratamento				p-valor	Efeito quadrático
	8 psu	16 psu	24 psu	32 psu		
Sobrevivência (%)	56,3 ± 4,7	83,3 ± 1,2	82,6 ± 4,3	84,0 ± 4,0	0,0389	y= 26,47 + 4,674x - 0,091x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,8427
Peso médio final (g)	12,7 ± 0,3	11,5 ± 0,4	11,6 ± 0,2	11,8 ± 0,5	0,3082	ns
Ganho em peso semanal (g semana <sup>-1</sup> )	1,4 ± 0,0	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,1	0,5242	ns
Biomassa final (g tanque <sup>-1</sup> )	1826,7 ± 223,7	2190,0 ± 151,0	2296,7 ± 159,5	2376,7 ± 83,3	0,5978	ns
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	2,3 ± 0,3	2,7 ± 0,2	2,9 ± 0,2	3,0 ± 0,1	0,5978	ns
Fator de conversão alimentar	2,0 ± 0,1	1,8 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,8335	ns
Consumo de ração (kg tanque <sup>-1</sup> )	2,8 ± 0,2	3,0 ± 0,1	3,1 ± 0,0	3,1 ± 0,0	-	-

Dados são média ± desvio padrão. ns: não significativo. Consumo de ração não foi submetido à análise estatística. Fonte: elaborada pela autora.

### 2.5.2 Performance de *Sarcocornia ambigua*

Não foi determinada relação da salinidade ( $p > 0,05$ ) com nenhum dos parâmetros de produção de *S. ambigua* analisados (Tabela 3).

**Tabela 3.** Índices de produção de *Sarcocornia ambigua* cultivada em sistema de aquaponia com diferentes salinidades por oito semanas.

Parâmetro	Tratamento				p-valor
	8 psu	16 psu	24 psu	32 psu	
Peso médio final (g)	17,3 ± 13,4	21,4 ± 11,1	13,7 ± 9,0	12,2 ± 9,3	0,3554
Biomassa final (g tanque <sup>-1</sup> )	138,2 ± 36,0	182,4 ± 34,6	138,0 ± 14,2	114,3 ± 14,9	0,1672
Produtividade (kg m <sup>-2</sup> )	0,46 ± 0,12	0,61 ± 0,12	0,46 ± 0,05	0,38 ± 0,05	0,2838
Sobrevivência (%)	66,7 ± 0,0	61,1 ± 4,8	61,1 ± 25,5	63,9 ± 21,0	0,2843

Dados são média ± desvio padrão. Fonte: elaborada pela autora.

### 2.5.3 Parâmetros de qualidade da água

A salinidade foi controlada diariamente e permaneceu dentro do limite determinado para cada tratamento. A temperatura foi similar em todos os tanques, e o oxigênio dissolvido foi mantido dentro da faixa de conforto para *L. vannamei* (BOYD, 1989). O pH permaneceu constante ao longo do período experimental e não apresentou relação significativa entre as

salinidades dos tratamentos ( $p > 0,05$ ). Não existe relação entre a salinidade e os valores de alcalinidade (Tabela 4).

**Tabela 4.** Variáveis de qualidade da água em tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia com diferentes salinidades durante 57 dias, com densidade de estocagem de 300 camarões  $m^{-3}$ .

Parâmetro	Tratamento				p-valor	Efeito quadrático
	8 psu	16 psu	24 psu	32 psu		
Salinidade (psu)	8,4 ± 0,2	16,4 ± 0,2	24,5 ± 0,3	32,4 ± 0,5	-	-
Temperatura (°C)	29,3 ± 0,2	29,2 ± 0,2	29,5 ± 0,2	29,4 ± 0,3	-	-
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	6,35 ± 0,21	5,97 ± 0,10	5,62 ± 0,10	5,47 ± 0,06	-	-
pH	8,07 ± 0,10	7,98 ± 0,02	8,01 ± 0,03	8,00 ± 0,04	0,3129	ns
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	123,9 ± 2,4	125,9 ± 2,5	136,4 ± 3,2	151,2 ± 5,0	0,6404	ns
Sólidos suspensos totais (mg L <sup>-1</sup> )	251,9 ± 30,2	344,1 ± 28,3	329,0 ± 36,5	308,2 ± 62,1	0,3701	ns
Sólidos suspensos voláteis (%)	82,9 ± 2,4	69,5 ± 3,4	68,5 ± 0,7	73,3 ± 1,5	0,4082	ns
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	0,30 ± 0,06	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,39 ± 0,09	0,9178	ns
Nitrito (mg N-NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	0,35 ± 0,04	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,46 ± 0,05	0,3905	ns
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	6,32 ± 0,65	8,58 ± 0,94	6,55 ± 0,90	5,86 ± 1,16	0,0478	y= 3,993 + 0,4184x – 0,01153x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,4155
Ortofosfato (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup> )	2,34 ± 0,19	2,86 ± 0,09	1,89 ± 0,11	1,88 ± 0,13	0,0001	y= 2,167 + 0,05404x – 0,002x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,5037

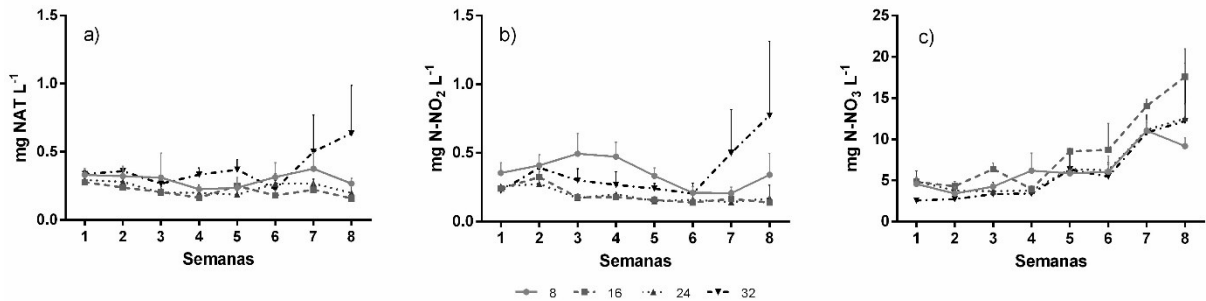
Dados são média ± desvio padrão. Temperatura, oxigênio dissolvido e salinidade não foram submetidos à análise estatística. ns: não significativo. Fonte: elaborada pela autora.

A concentração de SST aumentou ao longo das semanas em todos os tratamentos, mas não apresentou relação com as diferentes salinidades. A mesma tendência foi observada na concentração de SSV ( $p > 0,05$ ). As concentrações de NAT e nitrito permaneceram estáveis ao longo do experimento em todos os tratamentos ( $p > 0,05$ ) (Figuras 3a e b), e as concentrações mínimas foram encontradas nas salinidades interpoladas 18,0 psu e 18,8 psu, respectivamente (Figuras 4a e b).

Houve acúmulo de nitrato em todos os tratamentos durante as semanas de cultivo ( $p < 0,05$ ) (Figura 3c), alcançando o valor máximo na salinidade 18,1 psu (Figura 4c). A salinidade

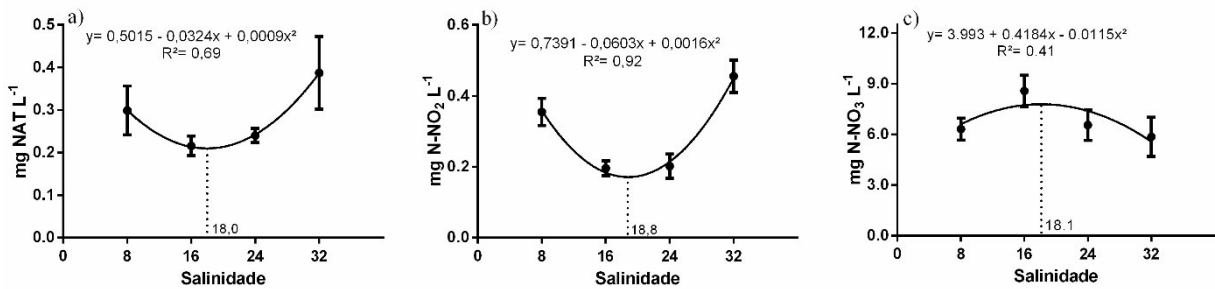
também afetou a concentração de ortofosfato dissolvido, e a concentração máxima foi encontrada na salinidade 13,5 psu.

**Figura 3.** (a) Nitrogênio amoniacal total, (b) nitrito e (c) nitrato nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia em diferentes salinidades por oito semanas.



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 4.** Regressão quadrática das concentrações de (a) NAT, (b) NO<sub>2</sub> e (c) NO<sub>3</sub> na água do cultivo de *Litopenaeus vannamei* em diferentes salinidades. A linha pontilhada vertical indica as salinidades interpoladas obtidas pela derivação da equação.



Fonte: elaborada pela autora.

## 2.5.4 Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo

O conteúdo de nitrogênio encontrado na ração, no camarão e nas plantas foi  $6,2 \pm 0,2\%$ ,  $2,8 \pm 0,1\%$  e  $0,8 \pm 0,0\%$ , respectivamente. O conteúdo de fósforo foi  $3,6 \pm 0,1\%$ ,  $1,0 \pm 0,1\%$  e  $0,2 \pm 0,0\%$  na ração, camarão e plantas, respectivamente. A Tabela 5 mostra os dados de recuperação de N e P em cada tratamento. Existe relação entre as salinidades e a eficiência de uso do fósforo ( $p = 0,0021$ ;  $y = 12,66 + 0,4101x - 0,0068x^2$ ;  $R^2 = 0,38$ ), e o ponto máximo foi estimado na salinidade 30,2 psu. Entretanto, a eficiência de uso do nitrogênio não foi afetada pela salinidade ( $p = 0,2656$ ;  $R^2 = 0,53$ ).



**Tabela 5.** Eficiência de uso do nitrogênio e fósforo nos camarões e plantas após 57 dias de cultivo em sistema de aquaponia com diferentes salinidades.

Parâmetro	Tratamento			
	8 psu	16 psu	24 psu	32 psu
Entrada de N pela ração (g)	173,1 ± 17,7	187,5 ± 4,5	192,7 ± 1,0	193,8 ± 0,0
N total na biomassa de camarão (g)	40,7 ± 5,2	50,3 ± 5,8	51,7 ± 4,0	54,9 ± 0,5
N total na biomassa de salicornia (g)	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,7 ± 0,5	0,7 ± 0,3
Eficiência de uso do nitrogênio camarão + salicornia (%)	24,1 ± 0,7	27,4 ± 2,4	27,2 ± 2,2	28,7 ± 0,4
Entrada de P pela ração (g)	99,3 ± 10,1	107,5 ± 2,6	110,5 ± 0,6	111,1 ± 0,0
P total na biomassa de camarão (g)	14,6 ± 2,1	20,5 ± 1,8	18,3 ± 1,7	21,4 ± 0,6
P total na biomassa de salicornia (g)	0,26 ± 0,07	0,27 ± 0,09	0,17 ± 0,11	0,14 ± 0,05
Eficiência de uso do fósforo camarão + salicornia (%)	14,9 ± 0,7	19,3 ± 1,3	16,7 ± 1,5	19,4 ± 0,6

Dados são média ± desvio padrão. Fonte: elaborada pela autora.

### 2.5.5 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante em *Sarcocornia ambigua*

O conteúdo fenólico do extrato de *S. ambigua*, determinado pela curva padrão de ácido gálico, foi 16,6 ± 3,3; 19,6 ± 5,3; 15,2 ± 2,6 e 13,2 ± 2,2 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> MF nos tratamentos 8, 16, 24 e 32 psu, respectivamente. A atividade antioxidante medida por DPPH foi 20,3 ± 2,7; 17,0 ± 9,9; 12,2 ± 1,2 e 18,7 ± 5,2 µmol TEAC 100 g<sup>-1</sup> MF nos tratamentos 8, 16, 24 e 32 psu, respectivamente. Não foram encontradas relações estatísticas entre os compostos fenólicos ( $p = 0,1285$ ;  $R^2 = 0,2414$ ), a atividade antioxidante ( $p = 0,2201$ ;  $R^2 = 0,1880$ ) e as salinidades testadas.

## 2.6 DISCUSSÃO

O camarão *Litopenaeus vannamei* habita ambientes naturais com variação de salinidade de 1 a 50 psu (PEREZ-VELAZQUEZ et al., 2013). Neste experimento, uma relação direta foi encontrada entre a redução da salinidade e o aumento na mortalidade do camarão. O mesmo comportamento foi observado por DECAMP et al. (2003), MAICÁ; DE BORBA; WASIELESKY (2012) e ZACARIAS et al. (2019). Essa baixa sobrevivência pode estar relacionada à composição mineral da água. Uma vez que as águas dos tratamentos foram preparadas utilizando um inóculo de bioflocos com salinidade 20 psu, a concentração de íons no tratamento 8 psu, e a relação entre sódio e potássio (Na:K), eram muito mais baixas do que as encontradas nos outros tratamentos, como mostrado na Tabela 1. Embora seja uma espécie eurialina, para garantir sobrevivência e crescimento satisfatórios de *L. vannamei* em baixa salinidade as proporções de íons como sódio, potássio e magnésio devem ser próximas àquelas

encontradas na água do mar (BOYD; THUNJAI, 2003; ROY et al., 2010; VALENZUELA-MADRIGAL et al., 2017).

Apesar de não haver relação significativa com a salinidade, outros parâmetros zootécnicos foram afetados pela sobrevivência no tratamento 8 psu. Possivelmente a diminuição na densidade causada pela mortalidade aumentou a disponibilidade de espaços nesses tanques, resultando em maior peso médio final e ganho em peso semanal (ARANEDA; PÉREZ; GASCA-LEYVA, 2008; SAMOCHA et al., 2004). Além disso, de acordo com a interpolação dos dados, a maior sobrevivência foi encontrada na salinidade 25,7 psu, a qual está próxima ao ponto isosmótico de *L. vannamei* (24,7 a 26 psu) (CASTILLE; LAWRENCE, 1981).

O potencial produtivo de uma planta halófito pode ser determinado pela espécie e a salinidade à qual ela é submetida durante o cultivo (VENTURA et al., 2011; VENTURA; SAGI, 2013). Halófitas da família Amaranthaceae, como a *S. ambigua*, tem seu crescimento estimulado na presença de NaCl, sendo a salinidade entre 150 e 300 mM NaCl ideal para seu desenvolvimento (aproximadamente 8 a 17 psu) (ROZEMA; SCHAT, 2013; VENTURA et al., 2011). Mesmo não havendo relação significativa entre a performance da planta e a salinidade, a maior produção foi alcançada no tratamento 16 psu, e a máxima produtividade e peso final foram estimados em salinidades próximas à essa (17,5 psu e 16,4 psu respectivamente). Espécies dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* são caracterizadas pelo baixo crescimento e produtividade quando irrigadas com água marinha (VENTURA et al., 2011). No mesmo sistema aquapônico usando água do mar, SILVA (2016) e SOARES (2017) alcançaram produtividade de 1,9 e 1,1 kg m<sup>-2</sup> de plantas, respectivamente.

Em geral, plantas podem absorver nitrogênio na forma de nitrato ou amônia (BARKER; PILBEAM, 2015) mas, em ambientes salinos, com alta concentração de cloreto (Cl<sup>-</sup>), a absorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pode predominar e o uso de NO<sub>3</sub> é inibido (CARTAXANA et al., 1999; KUDO; FUJIYAMA, 2010). Neste experimento, as menores concentrações de amônia e nitrito e a maior concentração de nitrato foram encontradas próximas à salinidade 16 psu. Assim, é sugerido que, nesta salinidade, a absorção de amônia pelas plantas é favorecida. Em sistemas de aquaponia, o acúmulo de nitrato pode ocorrer quando a taxa de geração de NO<sub>3</sub> excede a quantidade desse nutriente que a planta pode utilizar (RAKOCY, 2012; SEAWRIGHT; STICKNEY; WALKER, 1998). Além disso, o aumento nas concentrações de NO<sub>3</sub> nos

tratamentos durante o cultivo pode ter ocorrido pois a planta para de absorver nitrato quando o requerimento desse nutriente é alcançado (WONGKIEW et al., 2017).

Em sistemas com baixa troca de água, como o BFT, o aumento nas concentrações de ortofosfato é esperado pois, ao contrário da amônia, o fósforo não é perdido para a atmosfera e a eliminação através de renovação de água é praticamente inexistente (SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013). Neste estudo, as baixas concentrações de  $\text{PO}_4^{3-}$  não afetaram o desenvolvimento de *S. ambigua*, uma vez que valores tão baixos quanto  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$  são suficientes para o desenvolvimento dessa halófito (BUHMANN et al., 2015). O acúmulo de ortofosfato durante as semanas de cultivo ocorreu devido ao metabolismo do camarão e o consumo de alimento. Foi utilizada uma tabela de alimentação para calcular a quantidade diária de ração a ser fornecida nos tanques e, como não era possível observar sobra de alimento nas bandejas dos tanques do tratamento 8 psu, apesar da mortalidade foi mantida a quantidade determinada pela tabela. Dessa forma, a relação significativa entre as concentrações de ortofosfato e a salinidade pode estar relacionada à alta mortalidade de camarão no tratamento 8 psu, visto que a principal fonte de fósforo na água do cultivo é a decomposição do alimento não consumido (PÁEZ-OSUNA et al., 1997; SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013). O mesmo comportamento foi reportado por MAICÁ; DE BORBA; WASIELESKY (2012), que observaram aumento de ortofosfato nos tratamentos com baixa salinidade e maior mortalidade.

A eficiência de uso de nitrogênio e fósforo pode ser determinada como a quantidade (ou porcentagem) desses nutrientes que são recuperados como produto final (BARKER; PILBEAM, 2015). Assim, a eficiência de um sistema aquícola pode ser avaliada com base na conversão de N e P em biomassa despescada (ENDUT; JUSOH; ALI, 2013). Neste experimento, a recuperação de N na biomassa de *L. vannamei* ( $26,3 \pm 2,3\%$ ) foi similar à encontrada em cultivos intensivos de camarões peneídeos (FUNGE-SMITH; BRIGGS, 1998; THAKUR; LIN, 2003). Em um sistema aquapônico, o uso de N pode ser incrementado em até 25% (HU et al., 2015). A absorção de nitrogênio pela planta é influenciada por fatores como a concentração desse nutriente na água e a idade da planta (BARKER; PILBEAM, 2015; MARISCAL-LAGARDA et al., 2012). PINHEIRO et al. (2017) após 73 dias de cultivo em aquaponia de *S. ambigua* com *L. vannamei*, aumentaram a EUN no sistema em quase 10% devido à alta produtividade de plantas ( $8,2 \pm 0,3 \text{ kg m}^{-2}$ ) e maior concentração de nitrato na água ( $21,4 \pm 17,0 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ). Portanto, a baixa produção de *S. ambigua* alcançada nesse

experimento e o baixo teor de N na planta provavelmente não foram suficientes para aumentar a EUN do sistema.

A recuperação de fósforo na biomassa de camarão foi maior ( $17,4 \pm 2,2\%$ ) do que a reportada por CASILLAS-HERNÁNDEZ *et al.* (2006) (13,6%) e PÁEZ-OSUNA *et al.* (1997) (6,1%). A concentração de fósforo nos brotos de *S. ambigua* foi  $0,20 \pm 0,09\%$  e está dentro da faixa esperada, uma vez que em plantas esta pode variar de 0,1% a 1%, e tecidos mais novos e suculentos apresentam quantidade mais considerável do que aqueles que já estão lignificados (BARKER; PILBEAM, 2015). A relação significativa entre a EUF e a salinidade não está clara, mas pode estar relacionada ao aumento da biomassa de camarão nas salinidades mais altas e, conseqüentemente, ao maior consumo de ração com alto conteúdo de fósforo, como a que foi utilizada neste experimento (CASILLAS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

A produção de compostos antioxidantes é uma das respostas do metabolismo da planta ao estresse oxidativo (BERTIN *et al.*, 2014; KSOURI *et al.*, 2008). A produção desses compostos pode variar de acordo com a espécie e as condições ambientais às quais as plantas são submetidas, como salinidade, disponibilidade de água e nutrientes e intensidade luminosa (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013; VENTURA; SAGI, 2013). O crescimento em condições diferentes daquelas consideradas ideais podem induzir o estresse e, conseqüentemente, aumentar os metabólitos secundários, como os antioxidantes (BOESTFLEISCH *et al.*, 2014). Nas amostras de *S. ambigua* analisadas ao final do experimento, tanto o conteúdo de compostos fenólicos quanto a atividade antioxidante estavam abaixo do reportado por outros autores no mesmo sistema de cultivo (PINHEIRO *et al.*, 2017; SILVA, 2016).

## 2.7 CONCLUSÃO

O cultivo integrado de *L. vannamei* com *S. ambigua* pode ser realizado em salinidades entre 16 e 24 psu, uma vez que a performance do camarão não é prejudicada e o crescimento das plantas e a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados é favorecida nessa faixa de salinidade.

## 2.8 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Ângela Kugelmeier, Matheus Rocha, Moisés Poli, Esmeralda Chamorro Legarda, Bruno Pierri, Paulo Pinto e Claudia Machado pela inestimável ajuda na execução do experimento.

## 2.9 FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (com bolsas de estudo para os dois primeiros autores) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Ciências do Mar 2 Projeto 43/2013 AUXPE 1969/20). Felipe Vieira, Ana Carolina Costa, Roseane Fett e Walter Seiffert receberam bolsa de produtividade do CNPq.

## 2.10 REFERÊNCIAS

AOAC INTERNATIONAL. Methods 940.25 (Nitrogen (Total) in Seafood) and 978.04 (Nitrogen (Total) in Plants). In: HORWITZ, W.; LATIMER, G. W. (Eds.). . **Official Methods of Analysis**. 18. ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2005. p. 771.

APHA. Method 2540 (Solids). In: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ARANEDA, M.; PÉREZ, E. P.; GASCA-LEYVA, E. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: Condition state based on length and weight. **Aquaculture**, v. 283, n. 1, p. 13–18, 2008.

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

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. 2. ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2015.

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

BOESTFLEISCH, C. et al. Manipulating the antioxidant capacity of halophytes to increase their cultural and economic value through saline cultivation. **AoB Plants**, v. 6, n. Physiology and Ecology of Halophytes—Plants Living in Salt-Rich Environments, p. 1–16, 2014.

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

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

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie - LWT**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BUHMANN, A. K. et al. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 102–114, 2015.

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

CARTAXANA, P. et al. Seasonal variation of inorganic nitrogen and net mineralization in a salt marsh ecosystem. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 3, n. 2, p. 127–134, jun. 1999.

CASILLAS-HERNÁNDEZ, R. et al. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, v. 258, n. 1–4, p. 289–298, 2006.

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

CEROZI, B. S.; FITZSIMMONS, K. Phosphorus dynamics modeling and mass balance in an aquaponics system. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 94–100, 2017.

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 356–357, p. 351–356, 2012.

DAVIS, D. A. et al. Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in West Alabama. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 36, n. 3, p. 416–419, 2005.

DECAMP, O. et al. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. **Aquaculture Research**, v. 34, n. 4, p. 345–355, 2003.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1–4, p. 346–358, 2006.

- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZO, G. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: MATOVIC, M. D. (Ed.). . **Biomass Now—Cultivation and Utilization**. [s.l.] InTech, 2013.
- ENDUT, A.; JUSOH, A.; ALI, N. Nitrogen budget and effluent nitrogen components in aquaponics recirculation system. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, n. 4–6, p. 744–752, 2013.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- FAO. Integrated Aquaculture and Aquaponics. In: **Sustainable Food and Agriculture: An Integrated Approach**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 251–257.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 945–963, 2008.
- FUNGE-SMITH, S. J.; BRIGGS, M. R. P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. **Aquaculture**, v. 164, n. 1, p. 117–133, 1998.
- HU, Z. et al. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 92–98, 2015.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- KOTZEN, B. et al. Aquaponics: Alternative types and approaches. In: GODDEK, S. et al. (Eds.). . **Aquaponics Food Production Systems**. Cham: Springer, 2019. p. 301–330.
- KSOURI, R. et al. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. **C. R. Biologies**, v. 331, n. 11, p. 865–873, 2008.
- KUDO, N.; FUJIYAMA, H. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. **Pedosphere**, v. 20, n. 3, p. 311–317, 2010.
- LOVE, D. C. et al. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67–74, 2015.
- MAICÁ, P. F.; DE BORBA, M. R.; WASIELESKY, W. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 3, p. 361–370, 2012.
- MARISCAL-LAGARDA, M. M. et al. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. **Aquaculture**, v. 366–367, p. 76–84, 2012.

MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R. et al. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, n. 2, p. 131–148, 2015.

PÁEZ-OSUNA, F. et al. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-western Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, v. 34, n. 5, p. 290–297, 1997.

PEREZ-VELAZQUEZ, M. et al. Studies of the Thermal and Haline Influences on Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei* and *Litopenaeus setiferus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 2, p. 229–238, 2013.

PIIRAINEN, M.; LIEBISCH, O.; KADEREIT, G. Phylogeny, biogeography, systematics and taxonomy of Salicornioideae (Amaranthaceae/Chenopodiaceae) – A cosmopolitan, highly specialized hygrohalophyte lineage dating back to the Oligocene. **TAXON**, v. 66, n. 1, p. 109–132, 2017.

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

PINHO, S. M. et al. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 146–153, 2017.

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

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

REDONDO-GÓMEZ, S. et al. Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 1, p. 116–124, 2006.

RIZELIO, V. M. et al. Fast determination of cations in honey by capillary electrophoresis: A possible method for geographic origin discrimination. **Talanta**, v. 99, p. 450–456, 2012.

ROCHA, A. F. DA et al. Lettuce production in aquaponic and biofloc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, p. 64–73, dez. 2017.

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

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

SAMOCHA, T. M. et al. Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in



High-Density Greenhouse-Enclosed Raceways Using Low Salinity Groundwater. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 15, n. 3–4, p. 1–19, 2004.

SCHVEITZER, R. et al. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p. 59–70, 2013.

SEAWRIGHT, D. E.; STICKNEY, R. R.; WALKER, R. B. Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. **Aquaculture**, v. 160, n. 3, p. 215–237, 1998.

SILVA, H. V. DA. **Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei***. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

SILVA, K. R. DA; WASIELESKY, W.; ABREU, P. C. Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 1, p. 30–41, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SOARES, J. **Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. **Practical Handbook of Seawater Analysis**. 1. ed. Ottawa: Fish Research Board of Canada, 1972.

THAKUR, D. P.; LIN, C. K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 27, n. 3, p. 159–176, 2003.

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

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

VAN WYK, P. Nutrition and Feeding of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Culture Systems. In: WYK, P. VAN et al. (Eds.). . **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Tallahassee: Harbor Branch Oceanographic Institution, 1999b. p. 125–140.

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

VENTURA, Y. et al. The development of halophyte-based agriculture: past and present. **Annals of Botany**, p. 1–12, 2014.

VENTURA, Y.; SAGI, M. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 144–153, 2013.

WONGKIEW, S. et al. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. **Aquacultural Engineering**, v. 76, p. 9–19, 2017.

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

ZACARIAS, S. et al. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in low-salinity water and a biofloc system. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 31, n. 1, p. 85–96, 2 jan. 2019.

### **3 Efeito do uso de sedimentador de sólidos no cultivo de *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com bioflocos**

Isabela Pinheiro<sup>a</sup>, Ramon Felipe Siqueira Carneiro<sup>a</sup>, Ângela Maria Kugelmeier<sup>a</sup>, Matheus Moreira Rocha<sup>a</sup>, Felipe do Nascimento Vieira<sup>a</sup>, Francisco Javier Magallón-Barajas<sup>b</sup>, Walter Quadros Seiffert<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos. Serv. dos Coroas, 503, Barra da Lagoa, Florianópolis, SC, Brazil. CEP. 88061-600

<sup>b</sup>Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste (CIBNOR). Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, CP. 23096, Mexico.

Artigo a ser submetido para publicação na revista *Aquaculture International*, conceito Qualis/CAPES B1.

### 3.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso contínuo do sedimentador de sólidos no cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e da halófito *Sarcocornia ambigua* em um sistema de aquaponia com bioflocos. O experimento foi conduzido por 54 dias e dois tratamentos foram avaliados: com sedimentador e sem sedimentador, com três repetições. Cada unidade experimental consistia em um tanque de 800 L para o cultivo dos camarões (densidade de 375 camarões m<sup>-3</sup>) e uma bancada hidropônica de 0,33 m<sup>2</sup> e capacidade para 28 mudas de *S. ambigua* (84 plantas m<sup>-2</sup>). No tratamento sem sedimentador a água do tanque foi bombeada continuamente para a bancada hidropônica. No tratamento com sedimentador, a água era bombeada para o centro do sedimentador e então o sobrenadante era distribuído em cada canal de irrigação e retornava ao tanque por gravidade. Para manter a concentração adequada de sólidos suspensos na água do cultivo de camarões os sólidos acumulados no sedimentador eram bombeados de volta ao tanque de cultivo a cada 30 minutos. No tratamento com sedimentador, a redução da concentração de SST levou ao aumento gradual de NAT e NO<sub>2</sub> e à estabilidade da concentração de NO<sub>3</sub> na água. Os parâmetros de qualidade da água foram mais estáveis no tratamento sem sedimentador. Entretanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos para nenhuma variável avaliando os índices produtivos das plantas e camarões. Esses resultados demonstram a viabilidade do cultivo aquapônico de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos sem a necessidade de usar o sedimentador de forma contínua, e uma alternativa para a simplificação da estrutura de aquaponia.

**Palavras-chave:** sólidos suspensos, cultivo integrado, camarão-branco-do-Pacífico, salicórnia, AMTI.

### 3.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of the continuous use of the settling chamber for solids removal in the cultivation of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* and the halophyte *Sarcocornia ambigua* in an aquaponics system with biofloc. The experiment was conducted for 54 days and two treatments were evaluated: with settling and without settling, with three replicates. Each experimental unit consists of an 800 L tank for shrimp rearing (stocking density of 375 shrimp m<sup>-3</sup>) and a hydroponic bench with 0,33 m<sup>2</sup> and capacity for 28 seedlings of *S. ambigua* (84 plants m<sup>-2</sup>). In the treatment without settling, the water in the tank was continuously pumped to the hydroponic bench. In the treatment with settling, the water was pumped to the center of the settling chamber and then the supernatant was distributed in each irrigation channel and returned to the tank by gravity. To maintain the concentration of suspended solids in the water of the shrimp culture, the solids accumulated in the settling chamber were pumped back into the tank every 30 minutes. In the treatment with settling, the reduction of the TSS concentration led to the gradual increase of TAN and NO<sub>2</sub> and the stability of the NO<sub>3</sub> concentration in the water. The water quality parameters were more stable in the treatment without settling. However, there was no difference between treatments for any variable evaluating the production indexes of plants and shrimp. These results demonstrate the viability of the aquaponic cultivation of *L. vannamei* and *S. ambigua* with biofloc without the need to use the settling chamber continuously and as an alternative for simplifying the aquaponics structure.

**Keywords:** suspended solids, integrated culture, Pacific white shrimp, salicornia, IMTA.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A intensificação da aquicultura depende do desenvolvimento e aplicação de tecnologias que maximizem a produção por área cultivada e aproveitem o reuso de água e nutrientes (HU et al., 2015). O sistema de aquaponia combina componentes da aquicultura e da hidroponia para promover o crescimento de organismos aquáticos e plantas de maneira integrada (RAKOCY, 2012). Dentre as vantagens do sistema aquapônico estão a absorção de nutrientes pelas plantas, a redução dos impactos ambientais causados pela descarga de efluentes, a diversificação econômica através do cultivo de produtos com valor agregado e maior rentabilidade por unidade de cultivo (GODDEK et al., 2015, 2019; LEKANG, 2019).

Apesar da aquaponia em água doce ser a mais praticada e estudada, a limitação do uso da água doce para a produção de alimentos e a salinização dos solos têm aumentado a busca por alternativas, como o cultivo integrado com plantas halófitas (tolerantes à salinidade) em água salobra ou marinha (KOTZEN et al., 2019; VENTURA; SAGI, 2013). Espécies de halófitas dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia*, como a *Sarcocornia ambigua*, conhecidas como salicórnia ou aspargo-do-mar, são de grande interesse no mercado mundial da alta gastronomia por seu sabor levemente salgado e elevado valor nutricional (BARREIRA et al., 2017; BERTIN et al., 2014; CUSTÓDIO et al., 2017).

A estrutura de aquaponia tradicional é composta por um tanque para os animais, um sedimentador para a remoção dos sólidos suspensos, um biofiltro para nitrificação e uma bancada hidropônica para a produção de vegetais (LENNARD; LEONARD, 2006). Contudo, a fim de diminuir o custo de instalação e operação de um biofiltro e simplificar a estrutura aquapônica, o ideal é combinar os componentes de remoção de sólidos, nitrificação e hidroponia em uma única unidade (RAKOCY, 2012). Assim, uma forma de atingir esse objetivo é a aplicação do sistema BFT na aquaponia (KOTZEN et al., 2019).

A tecnologia de bioflocos (*Biofloc Technology* - BFT) é um sistema biosseguro para o cultivo do camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), pois apresenta como características a baixa ou nula troca de água, alta densidade de estocagem e a presença de uma rica comunidade microbiana responsável pelo controle dos compostos nitrogenados na água (AVNIMELECH, 2015). Estudos recentes têm demonstrado que a integração do cultivo de camarão e salicórnia com bioflocos pode aumentar a produtividade e promover maior ganho ecológico devido à ciclagem dos nutrientes (COSTA; BONILLA, 2016; DONCATO; COSTA, 2018, 2021; PINHEIRO et al., 2017, 2020; POLI et al., 2019). Entretanto, quando não bem

manejada, a alta concentração de sólidos suspensos na água dos tanques de bioflocos pode afetar as raízes e impactar na absorção dos nutrientes, resultando em menor produtividade de plantas (KOTZEN et al., 2019).

A remoção do excesso de sólidos suspensos totais (SST) com o auxílio de sedimentadores é uma prática comum nos cultivos de *L. vannamei* em BFT (GAONA et al., 2011; RAY et al., 2010). A sedimentação da matéria orgânica ocorre devido à diferença de densidade entre a água e os bioflocos, que são depositados no fundo do sedimentador devido à gravidade (TIMMONS; EBELING, 2010). Todavia, o uso constante do sedimentador pode quebrar os sólidos em partículas menores não-sedimentáveis e remover a biomassa de bactérias nitrificantes do cultivo, resultando na instabilidade dos parâmetros de qualidade da água (HARGREAVES, 2013; RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Em cultivos aquapônicos com baixa carga orgânica (menor densidade de estocagem de animais), o uso do sedimentador pode se tornar praticamente dispensável, pois a mineralização da matéria orgânica será necessária para a liberação de nutrientes para as plantas (RAKOCY, 2012). Além disso, a bancada hidropônica contribui para a remoção dos sólidos, pois a zona de raízes aumenta a área para a formação de biofilme, permitindo que as bactérias se multipliquem e decomponham os sólidos em suspensão (ANSARI et al., 2017). Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do uso contínuo do sedimentador de sólidos no cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e da halófito *Sarcocornia ambigua* em um sistema de aquaponia com bioflocos.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por 54 dias de outubro a dezembro de 2018 no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina, sul do Brasil.

#### 3.4.1 Material biológico

Os juvenis de *L. vannamei* (Aquatec Ltda., RN, Brasil) utilizados foram previamente cultivados em sistema intensivo de bioflocos no LCM (densidade de estocagem de 1000 camarões m<sup>3</sup>) com salinidade média de 33 psu.

As mudas de *S. ambigua* foram produzidas por meio de propagação vegetativa por estaquia de acordo com o proposto por PINHEIRO *et al.* (2020). Plantas de um canteiro do LCM foram cortadas em estacas e plantadas em bandejas usando como substrato uma mistura

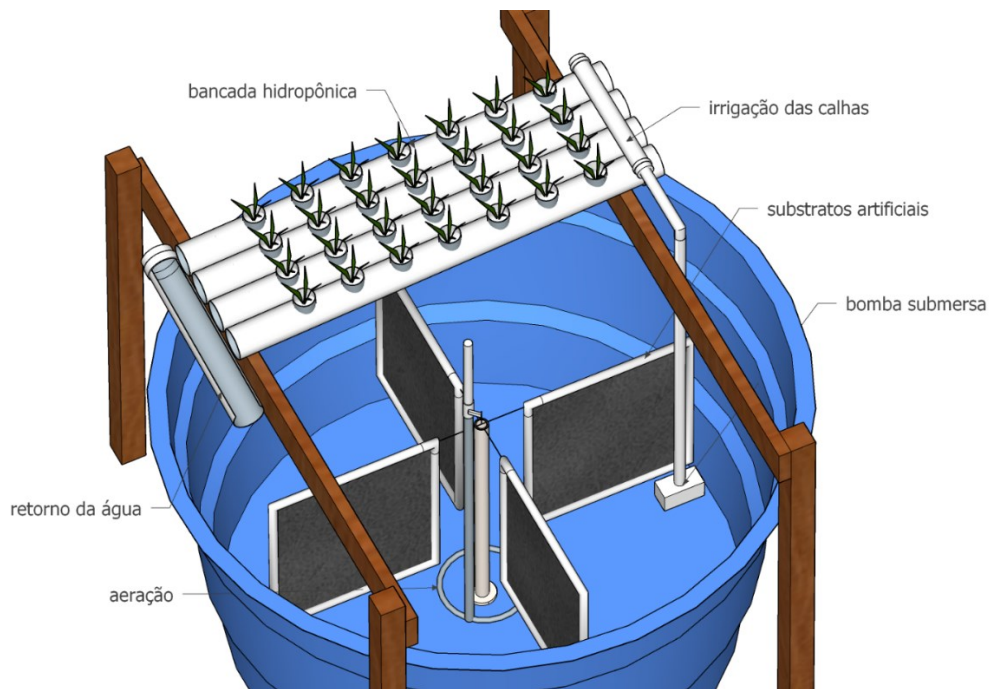
de terra adubada, areia e perlita. Após 50 dias, 168 mudas foram pesadas individualmente (peso médio  $2,1 \pm 0,1$  g) e transferidas para o sistema aquapônico.

### 3.4.2 Desenho experimental e manejo do sistema

Para avaliar o efeito do uso do sedimentador de sólidos no sistema de aquaponia com bioflocos, dois tratamentos foram testados: com sedimentador e sem sedimentador. Cada tratamento possuía três repetições, totalizando seis unidades experimentais que foram distribuídas aleatoriamente em uma estufa de 243 m<sup>2</sup> revestida com lona transparente.

Cada unidade experimental aquapônica era formada por um tanque circular de polietileno de 800 L de volume útil para os camarões e uma bancada hidropônica para as plantas (Figura 5). No tratamento com sedimentador, foi acoplado um sedimentador cilíndrico com fundo cônico de fibra de vidro com 90 L de volume útil (Figura 6). Os tanques para cultivo do camarão tinham um aquecedor de titânio de 800 W, mangueira micro perfurada conectada a um sistema de aeração por soprador radial para manter o oxigênio acima de 5 mg L<sup>-1</sup> e os bioflocos em suspensão, e quatro substratos artificiais verticais (100% poliéster de alta-densidade, Needlona<sup>®</sup>), correspondendo a 80% da superfície do tanque. Cada tanque foi coberto com sombrite (50% de sombreamento).

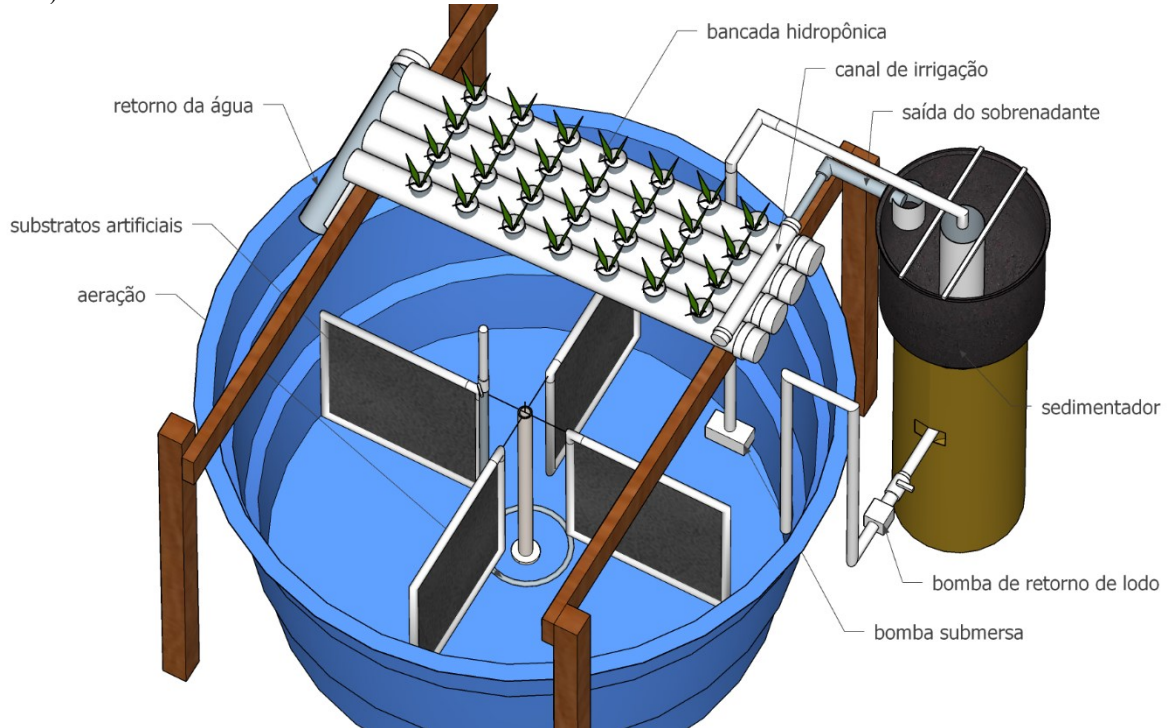
**Figura 5.** Unidade experimental aquapônica do tratamento sem sedimentador. Adaptado de PINHEIRO et al. (2017).



Fonte: elaborada pela autora.



**Figura 6.** Unidade experimental aquapônica do tratamento com sedimentador. Adaptado de PINHEIRO et al. (2017).



Fonte: elaborada pela autora.

A estrutura de aquaponia foi construída de acordo com PINHEIRO *et al.* (2017), com algumas modificações. Na bancada hidropônica para crescimento das plantas, os canais de irrigação eram formados por quatro tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 1,10 m de comprimento, acomodados lado a lado em suportes de madeira com 4% de inclinação. Cada bancada tinha 0,33 m<sup>2</sup> de área de plantio, e vinte e oito mudas de *S. ambigua* foram utilizadas em cada unidade experimental, correspondendo a uma densidade de 84 plantas m<sup>-2</sup>. No tratamento sem sedimentador, a água do tanque era bombeada continuamente para a bancada hidropônica em uma vazão de 3,0 L min<sup>-1</sup> utilizando uma bomba submersa (modelo SB650, Sarlo Better, Brasil), e distribuída em cada canal por gravidade. Após irrigar as plantas, a água retornava ao tanque também por gravidade. No tratamento com sedimentador, a água era bombeada continuamente para o centro do sedimentador, onde foi utilizado um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e comprimento até o início da parte cônica, para diminuir a turbulência da água e fazer com que os sólidos fossem depositados nas laterais do cone (RAKOCY, 2012). O sedimentador foi construído utilizando o modelo proposto por RAY; DILLON; LOTZ (2011). Um pequeno defletor de PVC foi utilizado na saída do sobrenadante para evitar que possíveis sólidos flutuantes fossem carregados para a bancada hidropônica. O sobrenadante era

então distribuído em cada canal de irrigação e retornava ao tanque por gravidade. Para manter a concentração adequada de sólidos suspensos na água do cultivo de camarões (SCHVEITZER et al., 2013) a cada trinta minutos os sólidos acumulados no sedimentador eram bombeados por 40 segundos de volta ao tanque por meio de uma eletrobomba (modelo EBE 01, Emicol, Brasil) conectada à saída inferior do sedimentador, numa vazão de  $15 \text{ L min}^{-1}$ .

Um dia antes do início do experimento os tanques e os sedimentadores foram preenchidos com água com bioflocos do tanque berçário. As características iniciais da água foram as seguintes: concentração de sólidos suspensos totais  $356,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; nitrogênio amoniacal total  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ ; nitrito  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ; nitrato  $6,3 \text{ mg L}^{-1}$ ; ortofosfato  $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH 8,11; alcalinidade  $140 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  e salinidade 32 psu. Cada tanque foi então povoado com 300 camarões, com peso médio de  $1,20 \pm 0,01 \text{ g}$ , representando densidade de estocagem de  $375 \text{ camarões m}^{-3}$ .

Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia com dieta comercial contendo 38% de proteína bruta (Poti Mirim QS 1.6 mm, Guabi, Brasil). A quantidade foi fornecida de acordo com a tabela de alimentação proposta por VAN WYK (1999b). Hidróxido de cálcio foi adicionado quando a alcalinidade esteve abaixo de  $120 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , numa proporção de 20% da ingestão diária de ração. Durante o experimento não foi necessária a adição de carbono orgânico uma vez que a concentração de amônia não alcançou valores maiores que  $1 \text{ mg L}^{-1}$  e o sistema era predominantemente quimioautotrófico (EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). Não houve renovação de água e apenas o volume perdido por evaporação foi repostado para correção da salinidade. A intensidade luminosa não era controlada e foi medida acima das plantas diariamente ao meio-dia (média  $968.64 \pm 388.45 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). O fotoperíodo natural durante o experimento era de 12 horas de luz.

### **3.4.3 Variáveis de qualidade da água e quantificação do lodo**

Durante o experimento, oxigênio dissolvido e temperatura eram monitorados duas vezes ao dia, às 8 h e 17 h (oxímetro modelo Pro20, YSI, EUA). O monitoramento da salinidade (condutivímetro modelo EC300A, YSI, EUA), pH (pHmetro modelo TEC-11, Tecnal, Brasil), alcalinidade, nitrogênio amoniacal total (NAT) e nitrito (STRICKLAND; PARSONS, 1972) foi conduzido duas vezes por semana. Nitrato (método de redução do cádmio NitraVer<sup>®</sup> 5, Hach, EUA) e ortofosfato dissolvido (STRICKLAND; PARSONS, 1972) foram analisados uma vez por semana.

Duas vezes por semana foram quantificados os sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF) (APHA, 2005) e os sólidos sedimentáveis foram medidos utilizando um cone Imhoff. Para manter a concentração de SST adequada para o cultivo de *L. vannamei*, ou seja, entre 400 e 600 mg L<sup>-1</sup> (SCHVEITZER et al., 2013), quando necessário foi utilizado um sedimentador cilindro-cônico e o excesso de sólidos removido foi quantificado (POLI et al., 2019). O lodo total produzido em cada unidade experimental foi calculado como:

$$\text{lodo produzido (kg tanque}^{-1}) = \frac{(SST_{final} * v) - (SST_{inicial} * v)}{1.000.000} + \sum SR$$

onde  $SST_{final}$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração final de SST,  $SST_{inicial}$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração inicial de SST,  $v$  (L) é o volume das unidades experimentais e  $\sum SR$  (kg) é o peso total de lodo removido. Essa última variável foi quantificada quando o sedimentador teve que ser usado para corrigir a concentração de sólidos no tanque e foi calculada com o volume de lodo removido (medido com um balde graduado), a concentração de SST no lodo do balde, multiplicando os dois valores e convertendo o resultado em kg (MARTINS et al., 2020). No dia da colheita das plantas, o lodo acumulado nas calhas foi despejado nos tanques de camarão e a quantidade está inserida na concentração final de SST do tanque ( $SST_{final}$ ).

### 3.4.4 Índices de desempenho dos camarões e das plantas

Após o período experimental, foram calculados os seguintes índices zootécnicos: peso médio final (g), sobrevivência (%), ganho em peso semanal (g semana<sup>-1</sup>), biomassa final (g tanque<sup>-1</sup>), produtividade (kg m<sup>-3</sup>) e fator de conversão alimentar.

A parte aérea de cada planta foi pesada individualmente ao final do cultivo. As raízes foram descartadas por apresentarem um emaranhado de raízes, perlita e tela de suporte que não podia ser quantificado. O peso médio final (g), a biomassa final (g tanque<sup>-1</sup>), a produção (kg m<sup>-2</sup>) e a sobrevivência (%) foram então calculados.

### 3.4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes Shapiro-Wilk e Levene para avaliar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Os índices zootécnicos e fitotécnicos foram comparados pelo teste  $t$  de Student. O teste  $t$  de Student foi aplicado nos dados da última semana de cultivo para os parâmetros SST, SSV, SSF e sólidos sedimentáveis, bem como nos dados de produção de lodo, com o objetivo de comparar os resultados encontrados entre os dois tratamentos. Ainda,

os dados de NAT, nitrito, nitrato, ortofosfato, alcalinidade e pH foram comparados pelo teste ANOVA com medidas repetidas para avaliar o efeito dos tratamentos ao longo das semanas de cultivo. Todos os testes foram aplicados com nível de significância de 5% usando o software GraphPad Prism versão 6.01.

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 Concentração de sólidos e produção de lodo

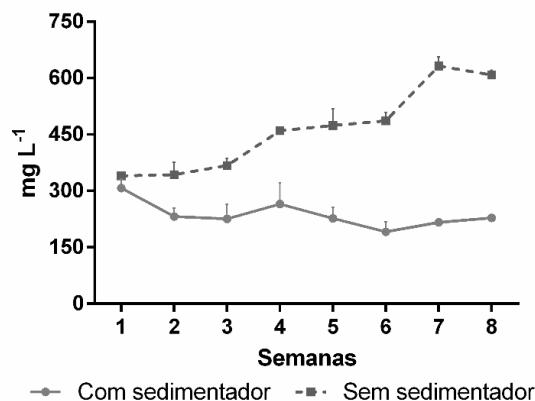
A produção total de lodo e o volume de sólidos sedimentáveis ao final do experimento foram significativamente maiores no tratamento sem sedimentador (Tabela 6). Houve acúmulo de sólidos suspensos totais ao longo do cultivo no tratamento sem sedimentador. Na sétima semana de experimento, a concentração de SST nesse tratamento foi maior que 600 mg L<sup>-1</sup> e um sedimentador precisou ser utilizado para remover o excesso de sólidos (Figura 7). Tanto SST quanto a porcentagem de SSV foram mais baixas no tratamento com sedimentador ( $p < 0,05$ ) ao final do experimento.

**Tabela 6.** Lodo total produzido, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF) na oitava semana de cultivo de *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em aquaponia com e sem o uso de sedimentador.

	Tratamento		p-valor
	Com sedimentador	Sem sedimentador	
Lodo total produzido (kg tanque <sup>-1</sup> )	0,10 ± 0,05	0,90 ± 0,10	<0,0001*
SST (mg L <sup>-1</sup> )	228,3 ± 7,0	608,5 ± 12,1	<0,0001*
SSV (%)	30,7 ± 1,8	46,1 ± 0,6	<0,0001*
SSF (%)	69,3 ± 1,8	53,9 ± 0,6	<0,0001*
Sólidos sedimentáveis (mL L <sup>-1</sup> )	0,08 ± 0,05	19,17 ± 3,25	<0,0001*

Dados são média ± desvio padrão. \* indica diferença estatística pelo teste  $t$  ( $p < 0,05$ ). Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 7.** Concentração de sólidos suspensos totais na água dos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante oito semanas.



Fonte: elaborada pela autora.

### 3.5.2 Qualidade da água

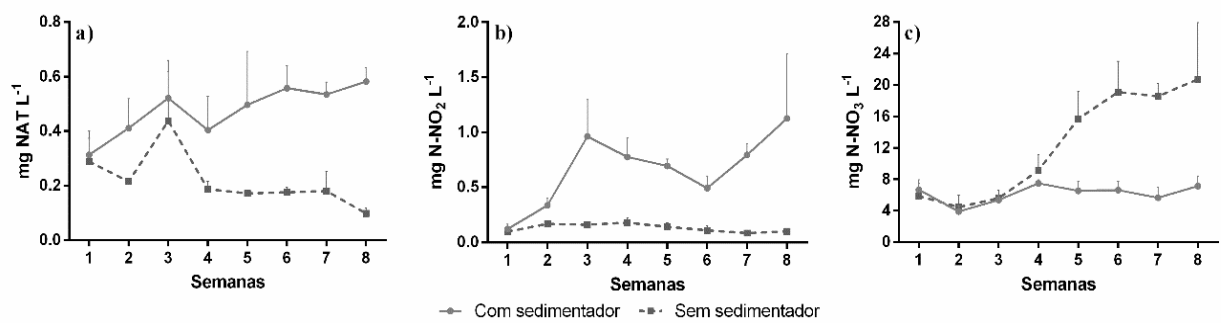
Não foram observadas diferenças significativas para salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido entre os tratamentos ao longo do experimento. A alcalinidade e o pH foram mais elevados no tratamento com sedimentador ( $p < 0,05$ ) (Tabela 7). A concentração de NAT foi significativamente mais alta no tratamento com sedimentador (Figura 8a). A concentração de nitrito permaneceu constante no tratamento sem sedimentador durante o período experimental e foi mais instável no tratamento com sedimentador ( $p < 0,05$ ) (Figura 8b). Houve acúmulo de nitrato no tratamento sem sedimentador ( $p < 0,05$ ) (Figura 8c). A concentração de ortofosfato aumentou ao longo das semanas de cultivo nos dois tratamentos, mas foi significativamente mais elevada no tratamento sem sedimentador (Figura 9).

**Tabela 7.** Variáveis de qualidade da água em tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante 54 dias, com densidade de estocagem de 375 camarões m<sup>-3</sup>.

Parâmetro	Tratamento		ANOVA		
	Com sedimentador	Sem sedimentador	T	S	TxS
Salinidade (psu)	33,1 ± 1,6 (30,0 – 35,8)	32,5 ± 2,3 (28,7 – 35,7)	-	-	-
Temperatura (°C)	28,6 ± 0,9 (26,0 – 32,0)	28,9 ± 0,7 (27,4 – 32,0)	-	-	-
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	5,9 ± 0,3 (5,0 – 7,6)	5,8 ± 0,3 (5,1 – 7,3)	-	-	-
pH	8,11 ± 0,01 (7,84 – 8,30)	7,99 ± 0,01 (7,72 – 8,23)	0,0003	<0,0001	0,0043
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	165,3 ± 5,2 (132 – 212)	138,1 ± 1,3 (112 – 168)	0,0003	<0,0001	<0,0001
Nitrogênio amoniacal total (mg L <sup>-1</sup> )	0,47 ± 0,05 (0,14 – 0,84)	0,21 ± 0,02 (0,07 – 1,09)	0,0008	0,0284	0,0010
Nitrito (mg N-NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	0,80 ± 0,35 (0,01 – 2,25)	0,13 ± 0,01 (0,01 – 0,30)	0,0014	0,0001	0,0001
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	6,16 ± 0,40 (2,92 – 8,94)	12,39 ± 1,97 (2,76 – 28,92)	0,0014	<0,0001	<0,0001
Ortofosfato (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup> )	3,25 ± 0,26 (1,33 – 6,26)	4,15 ± 0,12 (1,68 – 6,72)	0,0007	<0,0001	<0,0001

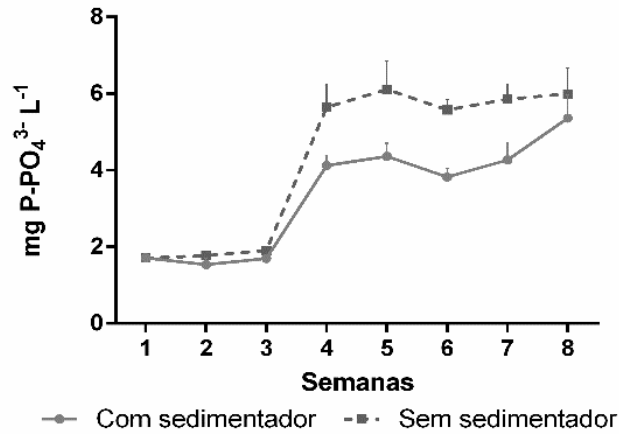
Dados são média ± desvio padrão (mínimo – máximo). T – tratamento; S – semanas; TxS – interação entre tratamento e semana. Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 8.** (a) Nitrogênio amoniacal total, (b) nitrito e (c) nitrato nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador.



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 9.** Ortofosfato dissolvido nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador.



Fonte: elaborada pela autora.

### 3.5.3 Desempenho dos camarões e plantas

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para nenhuma variável avaliando o desempenho produtivo de *L. vannamei* e *S. ambigua* (Tabela 8).

**Tabela 8.** Índices de produção de *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* cultivados em sistema de aquaponia com e sem o uso de sedimentador durante 54 dias.

	Tratamento		p-valor
	Com sedimentador	Sem sedimentador	
Performance de <i>L. vannamei</i>			
Sobrevivência (%)	87,3 ± 6,2	86,8 ± 5,0	0,9184
Peso médio final (g)	10,12 ± 0,27	10,06 ± 0,34	0,8165
Ganho em peso semanal (g semana <sup>-1</sup> )	1,15 ± 0,03	1,14 ± 0,04	0,8031
Biomassa final (g tanque <sup>-1</sup> )	2647 ± 166	2617 ± 74	0,7823
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	3,31 ± 0,21	3,27 ± 0,09	0,7823
Fator de conversão alimentar	1,57 ± 0,11	1,61 ± 0,07	0,5565
Performance de <i>S. ambigua</i>			
Peso médio final (g)	14,6 ± 2,2	12,8 ± 1,0	0,2576
Biomassa final (g tanque <sup>-1</sup> )	383,3 ± 58,4	338,2 ± 33,0	0,2892
Produtividade (kg m <sup>-2</sup> )	1,28 ± 0,19	1,13 ± 0,11	0,2892
Sobrevivência (%)	93,8 ± 1,8	94,0 ± 2,1	0,8457

Dados são média ± desvio padrão. Fonte: elaborada pela autora.

### 3.6 DISCUSSÃO

Temperatura, oxigênio dissolvido e salinidade permaneceram dentro dos limites adequados para o cultivo de *L. vannamei* e *S. ambigua* em sistema de aquaponia com bioflocos (PINHEIRO et al., 2017, 2020; POLI et al., 2019).

Na água dos tanques do tratamento sem sedimentador houve acúmulo de SST durante o experimento. Entretanto, por ser um sistema predominantemente quimioautotrófico, o excesso de sólidos foi removido apenas uma vez, quase ao final do cultivo, para manter a concentração de SST dentro do nível adequado para o cultivo de *L. vannamei* (SCHVEITZER et al., 2013). Em sistemas BFT, os sedimentadores são utilizados para reduzir a concentração de sólidos suspensos totais, melhorar a qualidade da água e o desempenho dos camarões (RAY et al., 2010; SCHVEITZER et al., 2013). Entretanto, quando utilizados de forma contínua, quebram os agregados microbianos em pequenas partículas não-sedimentáveis, mais difíceis de controlar (HARGREAVES, 2013; TIMMONS; EBELING, 2010). Ao longo do período experimental foi observada a retenção de sólidos nas calhas das bancadas hidropônicas dos dois tratamentos. Porém, no tratamento com sedimentadores, houve também a formação de uma grossa camada

de sólidos flutuantes na superfície dos sedimentadores, como consequência do acúmulo de sólidos finos, provavelmente quebrados nos processos de bombeamento da água e retorno do lodo. Essa condição levou à redução da concentração de sólidos suspensos totais e de sólidos sedimentáveis na água, podendo ser também responsável pela diminuição da biomassa de bactérias nitrificantes nesse tratamento (HU et al., 2015; PINHEIRO et al., 2017).

No cultivo com bioflocos, os sólidos suspensos são formados por componentes inorgânicos (SSF) e orgânicos (SSV), sendo que esses últimos aumentam devido ao crescimento microbiológico (LEKANG, 2019; TIMMONS; EBELING, 2010). A maior porcentagem de SSV na água dos tanques sem sedimentador evidencia que as bactérias nitrificantes eram mais abundantes nesse tratamento. Isso também é demonstrado pela maior produção de lodo sem o uso do sedimentador, pois o manejo adequado da concentração de sólidos no cultivo gera uma comunidade bacteriana mais estável (RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Além disso, no tratamento com sedimentador, o volume de sólidos sedimentáveis se manteve próximo de zero durante praticamente todo o experimento, indicando que a maior parte dos sólidos em suspensão era composta por partículas finas não-sedimentáveis. No cultivo de camarão em bioflocos, o volume de sólidos sedimentáveis varia de 2 a 40 mL L<sup>-1</sup>, sendo que o ideal é que seja mantido em torno de 20 mL L<sup>-1</sup> (AVNIMELECH, 2015), como observado no tratamento sem sedimentador.

O processo de nitrificação é influenciado por uma variedade de parâmetros como pH, temperatura, alcalinidade, salinidade e a disponibilidade de oxigênio e sólidos em suspensão que servirão de substrato para as bactérias nitrificantes (AVNIMELECH, 2015; EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). No tratamento com sedimentador, a redução da concentração de SST levou ao aumento gradual de NAT e NO<sub>2</sub> na água (HU et al., 2015; PINHEIRO et al., 2017). Além disso, na ausência de uma cultura microbiana estável e ativa, a oxidação do nitrito a nitrato ocorre lentamente, resultando no acúmulo de NO<sub>2</sub> e na manutenção das baixas concentrações de NO<sub>3</sub> no cultivo (ECK; KÖRNER; JIJAKLI, 2019; WONGKIEW et al., 2017). Por outro lado, o comportamento do nitrito na água dos tanques sem sedimentador demonstra que nesse tratamento o processo de nitrificação era mais estável e o NO<sub>2</sub> era imediatamente convertido em NO<sub>3</sub> (ZOU et al., 2016). Conseqüentemente, houve o acúmulo de nitrato, pois a taxa de geração de NO<sub>3</sub> excedeu a taxa de absorção pelas plantas, que param de utilizar esse nutriente quando atingem o sua exigência (HU et al., 2015; ZOU et al., 2016). Entretanto, as



concentrações de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  permaneceram abaixo do limite tolerado por *L. vannamei* durante todo o período experimental (FURTADO et al., 2015, 2016; LIN; CHEN, 2001)

Alcalinidade e pH são geralmente estáveis em tanques com bioflocos, sendo que o processo de nitrificação é o principal responsável pelo consumo da alcalinidade e diminuição do pH (AVNIMELECH, 2015; EBELING; TIMMONS; BISOGNI, 2006). No presente estudo, tanto o pH quanto a alcalinidade eram mais elevados no tratamento com sedimentador. Isso pode ter sido causado pela ocorrência de desnitrificação nos sedimentadores (RAY et al., 2010). O acúmulo de matéria orgânica em um ambiente aeróbico pode levar à condições anóxicas entre a camada de lodo e promover o crescimento e atividade de bactérias desnitrificantes, aumentando o pH e gerando alcalinidade (RAY et al., 2010; SAMOCHA; PRANGNELL, 2019). Além disso, essas bactérias são capazes de assimilar  $\text{PO}_4$ , o que justificaria a menor concentração desse nutriente no tratamento com sedimentador (MARTINS et al., 2020; RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Ainda, os sólidos suspensos são as principais fontes de acúmulo de ortofosfato, que é originado principalmente por restos de ração não consumida. Desta forma, a remoção de SST no tratamento com sedimentador pode ter sido responsável pela menor concentração de  $\text{PO}_4^{3-}$  ao longo do experimento (SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013).

Os índices zootécnicos foram similares aos observados em cultivos integrados de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos (PINHEIRO et al., 2017, 2020; POLI et al., 2019). A sobrevivência, a produtividade e o fator de conversão alimentar estão próximos aos reportados por PINHEIRO et al. (2020) e POLI et al. (2019). O baixo peso médio final dos camarões, quando comparado a outros cultivos aquapônicos de camarão e *Sarcocornia*, foi provavelmente devido à elevada densidade de estocagem e à baixa disponibilidade de espaço para os animais nos tanques. Utilizando o mesmo sistema de produção, PINHEIRO et al. (2017) despescaram camarões com aproximadamente 12 g, porém cultivados em densidade de 250 camarões.m<sup>-3</sup>. Ao contrário do que foi observado por RAY et al. (2010) o uso do sedimentador não afetou a produtividade de *L. vannamei*, que foi elevada em ambos os tratamentos.

Uma das preocupações do cultivo de plantas em aquaponia com BFT é o manejo da concentração de sólidos da água, pois esses podem afetar severamente as raízes e impactar a absorção de nutrientes e a disponibilidade de oxigênio (KOTZEN et al., 2019). Entretanto, no presente estudo, o uso contínuo do sedimentador para a remoção de SST não incrementou os índices produtivos de *S. ambigua*, que foram similares nos dois tratamentos. Em experimento avaliando o cultivo integrado de *S. ambigua*, *L. vannamei* e tilápia (*Oreochromis niloticus*) foi

possível produzir 2,3 kg.m<sup>-2</sup> de plantas sendo irrigadas com água com concentração aproximada de 430 mg L<sup>-1</sup> de SST (POLI et al., 2019). Em um sistema aquapônico com sedimentador, foram produzidos 1,1 kg.m<sup>-2</sup> de *S. ambigua* irrigada com água marinha do cultivo de *L. vannamei* com aproximadamente 330 mg L<sup>-1</sup> de SST (SOARES, 2017). Esses resultados estão próximos aos obtidos neste experimento no tratamento sem sedimentador, que apresentou maior concentração de SST na água ao longo do cultivo. Assim, mesmo que haja acúmulo de sólidos nas calhas hidropônicas, esse pode ser benéfico, pois a alta atividade microbiana no processo de mineralização da matéria orgânica libera nutrientes que são absorvidos pelos vegetais (PINHEIRO et al., 2017; PINHO et al., 2017; RAKOCY, 2012). Cabe ressaltar que, apesar do peso médio final das plantas ser menor do que o obtido por outros autores em sistemas de cultivo similares (PINHEIRO et al., 2017; POLI et al., 2019), os exemplares de *S. ambigua* cultivados em aquaponia com e sem o uso de sedimentador alcançaram o tamanho comercial de espécies de *Salicornia* e *Sarcocornia* para o mercado gastronômico (DONCATO; COSTA, 2018; VENTURA; SAGI, 2013) antes que fosse observada interferência do acúmulo de sólidos na produtividade de plantas e camarões.

### 3.7 CONCLUSÃO

Esse estudo demonstrou a viabilidade do cultivo aquapônico de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos sem a necessidade de usar o sedimentador de forma contínua, nas condições experimentais apresentadas. Além de manter os parâmetros de qualidade da água mais estáveis, a concentração de sólidos observada no tratamento sem sedimentador não prejudicou o crescimento das plantas e camarões. No entanto, o uso do sedimentador pode ser necessário eventualmente, para manter a concentração de sólidos suspensos em nível adequado para o cultivo do camarão marinho, e a estrutura de aquaponia será simplificada.

### 3.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Esmeralda Chamorro Legarda, Moisés Poli, Matheus Aranha Martins, Bruno Pierri e Claudia Machado pela inestimável ajuda na execução do experimento.

### 3.9 FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (com bolsas de estudo para os dois primeiros autores) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Ciências do Mar 2 Projeto 43/2013 AUXPE 1969/20). Ângela Kugelmeier e Matheus Rocha receberam bolsas de Iniciação Científica e Felipe Vieira e Walter Seiffert receberam bolsas de produtividade do CNPq.

### 3.10 REFERÊNCIAS

ANSARI, A. A. et al. **Phytoremediation - Management of Environmental Contaminants, Volume 5**. 1. ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2017.

APHA. Method 2540 (Solids). In: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

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

BARREIRA, L. et al. Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 59, p. 35–42, 2017.

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

COSTA, C. S. B.; BONILLA, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e usos. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. p. 1–64.

CUSTÓDIO, M. et al. Unravelling the potential of halophytes for marine integrated multi-trophic aquaculture (IMTA)- A perspective on performance, opportunities and challenges. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 9, p. 445–460, 2017.

DONCATO, K. B.; COSTA, C. S. B. Growth and mineral composition of two lineages of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 3, p. 399–416, 2018.

DONCATO, K. B.; COSTA, C. S. B. Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. **Aquaculture**, v. 531, p. 735815, 30 jan. 2021.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–

nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1–4, p. 346–358, 2006.

ECK, M.; KÖRNER, O.; JIJAKLI, M. H. Nutrient Cycling in Aquaponics Systems. In: GODDEK, S. et al. (Eds.). . **Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 231–246.

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

FURTADO, P. S. et al. Chronic effect of nitrite on the rearing of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* in two salinities. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, v. 49, n. 3, p. 201–211, 2016.

GAONA, C. A. P. et al. The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v. 12, n. 1, 1 jun. 2011.

GODDEK, S. et al. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 4199–4224, 2015.

GODDEK, S. et al. Aquaponics and Global Food Challenges. In: GODDEK, S. et al. (Eds.). . **Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 3–17.

HARGREAVES, J. A. Biofloc Production Systems for Aquaculture. **Southern Regional Aquaculture Center. SRAC.**, n. 4503, p. 1–12, 2013.

HU, Z. et al. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 92–98, 2015.

KOTZEN, B. et al. Aquaponics: Alternative types and approaches. In: GODDEK, S. et al. (Eds.). . **Aquaponics Food Production Systems**. Cham: Springer, 2019. p. 301–330.

LEKANG, O. I. Natural Systems, Integrated Aquaculture, Aquaponics, Biofloc. In: LEKANG, O. I. (Ed.). . **Aquaculture Engineering**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2019. p. 275–284.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. **Aquaculture International**, v. 14, n. 6, p. 539–550, 2006.

LIN, Y. C.; CHEN, J. C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* boone juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 259, n. 1, p. 109–119, 2001.

MARTINS, M. A. M. L. et al. Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 514, p. 734517, 2020.

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

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

PINHO, S. M. et al. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 146–153, 2017.

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

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

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

RAY, A. J.; DILLON, K. S.; LOTZ, J. M. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 127–136, 2011.

SAMOCHA, T. M.; PRANGNELL, D. I. System treatment and preparation. In: **Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 119–131.

SCHVEITZER, R. et al. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p. 59–70, 2013.

SILVA, K. R. DA; WASIELESKY, W.; ABREU, P. C. Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 1, p. 30–41, 2013.

SOARES, J. **Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. **Practical Handbook of Seawater Analysis**. 1. ed. Ottawa: Fish Research Board of Canada, 1972.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**. 2. ed. [s.l.] Cayuga Aqua Ventures, 2010.

VAN WYK, P. Nutrition and Feeding of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Culture Systems. In: WYK, P. VAN et al. (Eds.). . **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Tallahassee: Harbor Branch Oceanographic Institution, 1999. p. 125–140.

VENTURA, Y.; SAGI, M. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 144–153, 2013.

WONGKIEW, S. et al. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. **Aquacultural Engineering**, v. 76, p. 9–19, 2017.

ZOU, Y. et al. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 210, n. 3, p. 81–87, 2016.

#### 4 CONCLUSÃO GERAL DA TESE

No presente trabalho foi possível sugerir duas estratégias para otimizar o cultivo de camarão marinho e salicórnia em aquaponia com bioflocos:

1. O cultivo integrado de *L. vannamei* com *S. ambigua* pode ser realizado em salinidades entre 16 e 24 psu, uma vez que a performance do camarão não é prejudicada e o crescimento das plantas e a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados é favorecida nessa faixa de salinidade.
2. Também foi demonstrada a viabilidade do cultivo aquapônico de *L. vannamei* e *S. ambigua* com bioflocos sem a necessidade de usar o sedimentador de sólidos de forma contínua, pois dessa forma os parâmetros de qualidade da água serão mais estáveis e a estrutura de aquaponia será simplificada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho surgiu da necessidade de responder alguns questionamentos sobre a utilização dos sistemas de aquaponia para a produção de *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em bioflocos, uma vez que existem pouquíssimos trabalhos científicos publicados a respeito do tema. Algumas lacunas ainda precisam ser estudadas de forma a otimizar o cultivo integrado como:

- a. o desempenho do cultivo em salinidades mais baixas que 16 psu, com correção do balanço iônico para melhor desempenho dos camarões;
- b. o comportamento dos sólidos suspensos totais em períodos de produção mais longos que oito semanas;
- c. o desempenho do cultivo integrado em sistema de bioflocos heterotrófico e quimioautotrófico;
- d. o requerimento nutricional de *Sarcocornia ambigua* e a necessidade de suplementação mineral;
- e. a relação ideal entre a densidade de camarões, a entrada de ração e a quantidade de plantas por área de cultivo;
- f. a relação dos micro-organismos que compõem o bioflocos com a disponibilidade de nutrientes para as plantas;
- g. estruturas de cultivo alternativas (cama de substrato, bandejas flutuantes); e
- h. o desempenho da salicórnia em um sistema de aquaponia desacoplado, ou seja, com o tanque de cultivo de camarões separado.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ALONSO, M. Á.; CRESPO, M. B. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). **Annales Botanici Fennici**, v. 45, n. 4, p. 241–254, 2008.

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

BARREIRA, L. et al. Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 59, p. 35–42, 2017.

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

BERTIN, R. L. et al. Mineral composition and bioaccessibility in *Sarcocornia ambigua* using ICP-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 47, p. 45–51, 2016.

BOXMAN, S. E. et al. Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 5, p. 2463–2477, 2017.

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

BROWDY, C. L. et al. Biofloc-based Aquaculture Systems. **Aquaculture Production Systems**, p. 278–307, 2012.

BUHMANN, A. K. et al. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 102–114, 2015.

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

BURFORD, M. A. et al. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v. 219, n. 1–4, p. 393–411, 2003.

CASILLAS-HERNÁNDEZ, R. et al. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, v. 258, n. 1–4, p. 289–298, 2006.

CASTILHO-BARROS, L. et al. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. **Aquaculture International**, 2018.

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

CHEVALIER, A. Les Salicornes et leur emploi dans l'alimentation: Etude historique, botanique, économique. **Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale**, v. 2, p. 697–785, 1922.

COSTA, C. S. B. A Salicornia: Uma planta que pode ser utilizada no cultivo integrado com o camarão. **Panorama da Aquicultura**, p. 28–33, 2006.

COSTA, C. S. B. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of three biotypes of the halophyte *Sarcocornia ambigua*: A halophytic crop for cultivation with shrimp farm effluent. **South African Journal of Botany**, v. 117, p. 95–100, jul. 2018.

COSTA, C. S. B.; BONILLA, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e usos. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. p. 1–64.  
CRAB, R. et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1–4, p. 1–14, 2007.

DAVIS, D. A. et al. Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in West Alabama. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 36, n. 3, p. 416–419, 2005.

DÍAZ, F. J.; BENES, S. E.; GRATTAN, S. R. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California. **Agricultural Water Management**, v. 118, p. 59–69, 2013.

DUFAULT, R.; KORKMAZ, A. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer in bell pepper production. **Compost Science & Utilization**, v. 8, n. 4, p. 310–319, 2000.

DUFAULT, R.; KORKMAZ, A.; WARD, B. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer for broccoli production. **Compost Science & Utilization**, v. 9, n. 2, p. 107–114, 2001.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1–4, p. 346–358, 2006.

EKASARI, J.; CRAB, R.; VERSTRAETE, W. Primary Nutritional Content of Bio-Flocs Cultured with Different Organic Carbon Sources and Salinity. **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 17, n. 3, p. 125–130, 2010.

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

- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZO, G. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: MATOVIC, M. D. (Ed.). **Biomass Now—Cultivation and Utilization**. [s.l.] InTech, 2013.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018**. Rome: [s.n.].
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in action**. Rome: FAO, 2020.
- FERREIRA, G. S. et al. Strategies for ammonium and nitrite control in *Litopenaeus vannamei* nursery systems with bioflocs. **Aquacultural Engineering**, v. 88, 2020.
- FIERRO-SAÑUDO, J. F.; DE OCA, G. A.; PÁEZ-OSUNA, F. Co-culture of shrimp with commercially important plants: a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 4, p. 2411–2428, 2020.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 945–963, 2008.
- FURTADO, P. S. et al. Chronic effect of nitrite on the rearing of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* in two salinities. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, v. 49, n. 3, p. 201–211, 2016.
- GAONA, C. A. P. et al. The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v. 12, n. 1, 1 jun. 2011.
- GODDEK, S. et al. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 4199–4224, 2015.
- GUNNING, D.; MAGUIRE, J.; BURNELL, G. The Development of Sustainable Saltwater-Based Food Production Systems: A Review of Established and Novel Concepts. **Water**, v. 8, n. 12, 2016.
- HARGREAVES, J. A. Biofloc Production Systems for Aquaculture. **Southern Regional Aquaculture Center. SRAC.**, n. 4503, p. 1–12, 2013.
- HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 181–188, fev. 2008.
- HU, Z. et al. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 92–98, 2015.
- IZEPPI, E. M. **Efeitos da densidade de plantio na sobrevivência, desenvolvimento e**

**produção de biomassa da halófito *Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande, 2011.

KOTZEN, B. et al. Aquaponics: Alternative types and approaches. In: GODDEK, S. et al. (Eds.). . **Aquaponics Food Production Systems.** Cham: Springer, 2019. p. 301–330.

KRUMMENAUER, D. et al. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 1, p. 3–14, 2014.

KUDO, N.; FUJIYAMA, H. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. **Pedosphere**, v. 20, n. 3, p. 311–317, 2010.

LEKANG, O. I. Natural Systems, Integrated Aquaculture, Aquaponics, Biofloc. In: LEKANG, O. I. (Ed.). . **Aquaculture Engineering.** [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2019. p. 275–284.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. **Aquaculture International**, v. 14, n. 6, p. 539–550, 2006.

LENNARD, W.; GODDEK, S. Aquaponics: The Basics. In: **Aquaponics Food Production Systems.** [s.l.] Springer International Publishing, 2019. p. 113–143.

LIN, Y. C.; CHEN, J. C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* boone juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 259, n. 1, p. 109–119, 2001.

LIN, Y. F. et al. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environ Pollut**, v. 134, n. 3, p. 411–421, 2005.

LOVE, D. C. et al. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67–74, 2015.

MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R. et al. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, n. 2, p. 131–148, 2015.

MIRANDA, F. R. et al. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. **Aquacultural Engineering**, v. 39, n. 1, p. 1–5, 2008.

PEREIRA, R. M. **Estudos iniciais sobre o cultivo da halófito *Sarcocornia perennis* em Santa Catarina.** Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/79193>>.

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

- PINHO, S. M. et al. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 146–153, 2017.
- PINHO, S. M. et al. Integrated production of Nile tilapia juveniles and lettuce using biofloc technology. **Aquaculture International**, v. 29, n. 1, p. 37–56, 2021.
- POLI, M. A. et al. Integrated multitrophic aquaculture applied to shrimp rearing in a biofloc system. **Aquaculture**, v. 511, p. 734274, 2019.
- PRANGNELL, D. I.; SAMOCHA, T. M.; STARESINIC, N. Water. In: **Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 37–58.
- QUINTÃ, R. et al. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. **Chemosphere**, v. 120, p. 414–421, 2015.
- RAKOCY, J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. In: TIDWELL, J. H. (Ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2012. p. 344–386.
- RAY, A. J. et al. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. **Aquaculture**, v. 299, n. 1–4, p. 89–98, 2010.
- RAY, A. J.; DILLON, K. S.; LOTZ, J. M. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 127–136, 2011.
- REDONDO-GÓMEZ, S. et al. Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 1, p. 116–124, 2006.
- ROZEMA, J.; SCHAT, H. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 83–95, 2013.
- SAMOCHA, T. M.; PRANGNELL, D. I.; CASTRO, L. F. Biofloc. In: **Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 29–36.
- SCHVEITZER, R. et al. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p. 59–70, 2013.
- SILVA, H. V. DA. **Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei***. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- SILVA, K. R. DA; WASIELESKY, W.; ABREU, P. C. Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the**

**World Aquaculture Society**, v. 44, n. 1, p. 30–41, 2013.

SOARES, J. **Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

TIKHOMIROVA, N. A. et al. Possibility of *Salicornia europaea* use for the human liquid wastes inclusion into BLSS intrasystem mass exchange. **Acta Astronautica**, v. 63, n. 7–10, p. 1106–1110, 2008.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**. 2. ed. [s.l.] Cayuga Aqua Ventures, 2010.

TYSON, R. V.; TREADWEL, D. D.; SIMONNE, E. H. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. **HortTechnology**, v. 21, n. 1, p. 1–13, 2011.

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

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

VAN RIJN, J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49–56, 2013.

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

VENTURA, Y. et al. The development of halophyte-based agriculture: past and present. **Annals of Botany**, p. 1–12, 2014.

VENTURA, Y.; SAGI, M. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 144–153, 2013.

VILANI, F. G. et al. Strategies for water preparation in a biofloc system: Effects of carbon source and fertilization dose on water quality and shrimp performance. **Aquacultural Engineering**, v. 74, p. 70–75, 2016.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Sci Total Environ**, v. 380, n. 1–3, p. 48–65, 2007.

VYMAZAL, J. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 1, p. 1–17, 2009.

WALLER, U. et al. Integrated multi-trophic aquaculture in a zero-exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. **Aquaculture**

**International**, v. 23, n. 6, p. 1473–1489, 8 mar. 2015.

WONGKIEW, S. et al. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. **Aquacultural Engineering**, v. 76, p. 9–19, 2017.

XU, W. J.; MORRIS, T. C.; SAMOCHA, T. M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. **Aquaculture**, v. 453, 2016.

## 7 APÊNDICE A – Imagens do experimento 1 (salinidades)

**Figura 10.** Muda de *Sarcocornia ambigua* utilizada no experimento



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 11.** Visão geral da estufa



Fonte: elaborada pela autora.



**Figura 12.** Exemplos de *Sarcocornia ambigua* no momento da colheita



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 13.** Unidade aquapônica utilizada



Fonte: elaborada pela autora.

## 8 APÊNDICE B – Imagens do experimento 2 (sedimentador)

**Figura 14.** Visão geral da estufa



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 15.** Estrutura de aquaponia utilizada



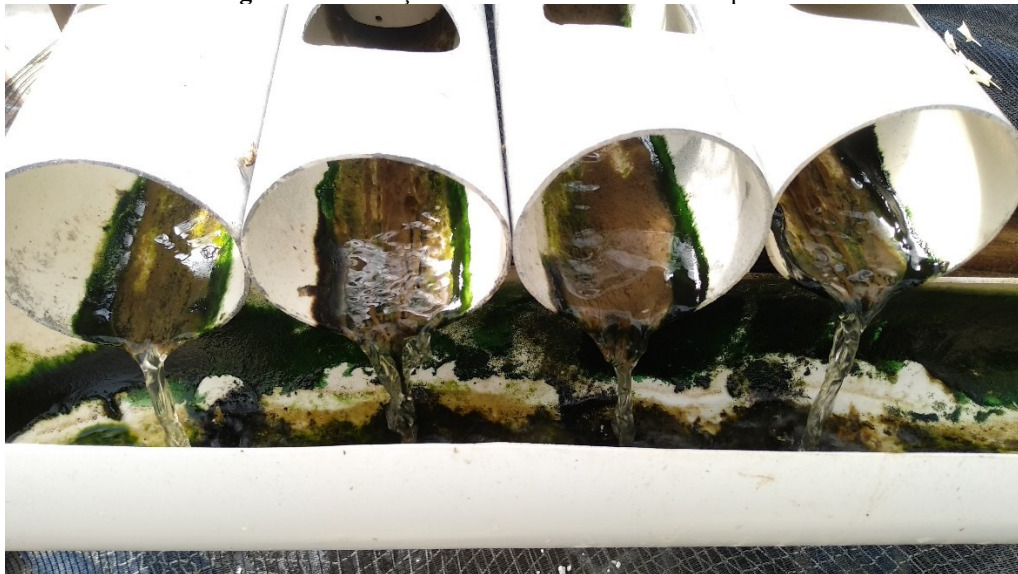
Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 16.** Retenção de sólidos no sedimentador



Fonte: elaborada pela autora.

**Figura 17.** Retenção de sólidos nas calhas hidropônicas



Fonte: elaborada pela autora.