



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

**Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*  
em sistema de aquaponia com bioflocos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Walter Quadros Seiffert  
Coorientador: Jorge Luiz Barcelos Oliveira

**Isabela Claudiana Pinheiro**

Florianópolis  
2015

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

Pinheiro, Isabela Claudiana

Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos / Isabela Claudiana Pinheiro ; orientador, Walter Quadros Seiffert ; coorientador, Jorge Luiz Barcelos Oliveira. - Florianópolis, SC, 2015.

48 p.

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

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. camarão marinho. 3. BFT. 4. nitrogênio. 5. antioxidante. I. Seiffert, Walter Quadros. II. Oliveira, Jorge Luiz Barcelos. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

**Produção da halófita *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*  
em sistema de aquaponia com bioflocos.**

Por

ISABELA CLAUDIANA PINHEIRO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

**MESTRE EM AQUICULTURA**

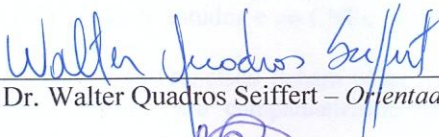
e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Pós-Graduação em Aqüicultura.



---

Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.  
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



---

Dr. Walter Quadros Seiffert – *Orientador*



---

Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez



---

Dra. Katt Regina Lapa



---

Dr. Maurício Gustavo Coelho Emerenciano



## Agradecimentos

Ao meu orientador Walter Quadros Seiffert pela oportunidade de fazer parte desse projeto inovador, pela confiança e paciência, por acreditar em mim e sempre me encorajar a seguir adiante.

Ao meu querido coorientador Jorge Luiz Barcelos Oliveira e toda equipe do Laboratório de Hidroponia por aceitarem o desafio e me auxiliarem na execução desse trabalho.

Ao Rafael Arantes por todo o auxílio no desenvolvimento desse trabalho, desde o planejamento até a execução do experimento; pelas longas conversas e ensinamentos sobre o mundo do bioflocos e também pela preocupação, paciência e amizade.

Ao Carlos Manoel pelo treinamento no Laboratório de Qualidade de Água e no setor de Bioflocos, por me ouvir nos momentos de desespero e aguentar as minhas manias e reclamações.

Aos amigos do Grupo de Aquaponia do LCM: Suhellen, Lucas, Hortência, Gabriella, Efrayn, Natália e Leonardo pela parceria e ajuda na execução do(s) experimento(s) e por tornarem os manejos mais divertidos.

Ao Carlos Miranda por sempre me socorrer nos imprevistos elétricos, hidráulicos e estruturais.

Aos professores Katt Lapa e Felipe Vieira pelo apoio e orientação, ao Prof. Luis Vinatea pelos conselhos, apoio e por disponibilizar recurso do projeto Ciências do Mar para a execução do trabalho e ao Prof. Roberto Bianchini por disponibilizar equipamentos do Laboratório de Cultivo de Algas que auxiliaram na metodologia; e também ao Carlito por toda dedicação ao PPGAQI.

À Prof. Roseane Fett, ao Luciano Gonzaga e toda a equipe do Laboratório de Química de Alimentos pelas análises bromatológicas.

A Capes pela bolsa de estudos e ao CNPq pelo apoio financeiro para execução do projeto.

À Mari Pallaoro e ao Francisco Pchara pelas risadas, parceria e carinho todos esses anos e pelo companheirismo na “República da Vinlândia”.

À Esmeralda pelo apoio, amizade e pelas sábias palavras nos momentos difíceis (tá acabando; vai acabar).

A todos os amigos do laboratório, em especial Marysol, Norha, Priscila, Marco, Ariane, Scheila, Joselle e Delano e também aos colaboradores do LCM, principalmente Davi, Ilson, Dimas, Seu Chico, Andréia e Paulinho pela ajuda nas transferências e despescas e pelas risadas na hora do café.

À minha família, principalmente meus pais, Hélio e Claudiana, meus irmãos e sobrinho pelo amor, compreensão e por sempre apoiarem minhas escolhas.

Aos meus amigos mais que especiais: Weber, Helena, Mathias, Vicente, Moisés, Yole, Morena, Cláudia, Ana Luiza, Marina, Bruno, Edu Bastos, Fábio, Brunah, Matheus, André e Lucía. Sem a presença de vocês na minha vida tudo seria mais difícil.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

## Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar o cultivo integrado de *Sarcocornia ambigua* e do camarão branco do Pacífico em um sistema aquapônico com bioflocos. O experimento foi conduzido por 73 dias e dois tratamentos foram avaliados: Plantas e Controle (sem plantas), com quatro repetições. Cada unidade experimental aquapônica era formada por um tanque de 800 L, um sedimentador cilindro-cônico de 40 L e uma bancada hidropônica de 0,4 m<sup>2</sup> de área de plantio e capacidade para 40 plantas. A água do tanque de camarões foi bombeada continuamente para o sedimentador e o sobrenadante era distribuído na bancada hidropônica para irrigar as plantas e posteriormente retornar ao tanque por gravidade. Os tanques foram povoados com 250 camarões m<sup>-3</sup> (1,4±0,0 g), os quais eram alimentados quatro vezes ao dia com dieta comercial contendo 35% de proteína bruta. Oxigênio dissolvido e temperatura foram monitorados duas vezes ao dia. Amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, sólidos suspensos totais, alcalinidade e pH foram medidos duas vezes por semana. Ao final do experimento foi determinado o conteúdo de nitrogênio total Kjeldahl nos camarões, nas plantas e na ração, assim como a quantidade de compostos fenólicos e a atividade antioxidante na *Sarcocornia*. A qualidade da água do cultivo se manteve adequada para o cultivo de camarões marinhos. Não foram observadas diferenças significativas no desempenho zootécnico de *L. vannamei*. A biomassa final média de camarão foi de 2,1±0,1 kg m<sup>-3</sup>, com sobrevivência média de 73,5±1,9%, peso médio final de 11,7±0,4 g e fator de conversão alimentar de 1,7±0,1. A produção de plantas foi de 8,2±0,3 kg m<sup>-2</sup>. A atividade antioxidante de *S. ambigua* era de 38,30±1,28 µmol TEAC 100 g<sup>-1</sup> MF, caracterizando essa espécie como alimento funcional. O aproveitamento do nitrogênio fornecido ao sistema através da ração foi mais elevado no tratamento Plantas (39,3%) do que em Controle (31,4%). No sistema de aquaponia proposto foi possível produzir *L. vannamei* e *S. ambigua* de forma integrada, otimizando o aproveitamento dos nutrientes do cultivo.

Palavras-chave: aquicultura, camarão marinho, BFT, nitrogênio, antioxidante.





## Abstract

The aim of this study was evaluate the integrated culture of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc. The experiment was performed for 73 days and two treatments were evaluated: Plants and Control (without plants), with four replicates. Each experimental unit consisted of an 800 L tank, a 40 L conical bottom settling chamber and a hydroponic bench with 0.4 m<sup>2</sup> of planting area and capacity for 40 plants. The water from the shrimp tank was pumped continuously to the settling chamber and the overflow was distributed to the channels to irrigate the plants, and then, returned to the tank by gravity. The tanks were stocked with 250 shrimp m<sup>-3</sup> (1.4±0.0 g). The shrimp were fed with commercial diet containing 35% crude protein, four times a day. Dissolved oxygen and temperature were measured twice a day. Total ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, orthophosphate, total suspended solids, alkalinity and pH were measured twice a week. At the end of the experiment, the total Kjeldahl nitrogen was determined in the shrimp, plants and the ration, as well as antioxidant activity and the total phenolic compounds in *Sarcocornia*. The water quality remained in the acceptable limits for the culture of marine shrimp. No significant differences were observed on the performance of *L. vannamei*. The final biomass of shrimp was 2.1±0.1 kg m<sup>-3</sup>, with survival of 73.5±1.9%, final average weight of 11.7±0.4 g and feed conversion ratio of 1.7±0.1. The production of plants was 8.2±0.3 kg m<sup>-2</sup>. The antioxidant activity in *S. ambigua* was 38.3±1.3 µmol TEAC 100 g<sup>-1</sup> FM, which characterizes this specie as a functional food. The recovery of the nitrogen supplied to the system through the ration was higher in the Plants treatment (39.3%) than in Control (31.4%). In the proposed aquaponic system, it was possible to produce *L. vannamei* and *S. ambigua* integrated and improve the use of nutrients in the culture.

Keywords: aquaculture, marine shrimp, BFT, nitrogen, antioxidant.



## Sumário

Introdução.....	13
Objetivos .....	17
Objetivo geral.....	17
Objetivos específicos .....	17
Formatação do Artigo.....	17
Resumo.....	18
1. Introdução.....	19
2. Material e métodos .....	20
2.1 Material biológico .....	20
2.1.1 Camarões .....	20
2.1.2 Plantas .....	20
2.2 Delineamento experimental, unidades experimentais e manejo do sistema.....	21
2.3 Variáveis de qualidade de água.....	23
2.4 Desempenho zootécnico dos camarões .....	23
2.5 Índices de produção das plantas .....	24
2.6 Análise de nitrogênio da planta, do camarão e da ração .....	24
2.7 Análise de atividade antioxidante e compostos fenólicos totais de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	24
2.8 Análise estatística.....	24
3. Resultados .....	25
3.1 Variáveis de qualidade de água.....	25
3.2 Desempenho zootécnico de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	28
3.3 Produção de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	28
3.4 Utilização do nitrogênio .....	28
3.5 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	29

4. Discussão .....	29
4.1 Qualidade da água do cultivo.....	29
4.2 Desempenho zootécnico de <i>Litopenaeus vannamei</i> e produção de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	31
4.3 Recuperação do nitrogênio no sistema.....	31
4.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	32
5. Conclusões .....	33
6. Referências bibliográficas .....	33
Referências bibliográficas da Introdução.....	41
Anexo 1. Estrutura de aquaponia utilizada no experimento, com tanque matriz de 50 m <sup>3</sup> ao fundo.....	46
Anexo 2. Visão geral da estufa de experimento com as oito unidades experimentais. ....	47
Anexo 3. Detalhe da saída do sobrenadante do decantador (a) e sistema de retorno de lodo (b).....	47
Anexo 4. Substrato (a) e estrutura de suporte das plantas (b) .....	48
Anexo 5. Desenvolvimento de <i>S. ambigua</i> no experimento: dia 1 (a), dia 30 (b), dia 54 (c) e dia 72 (d) .....	48

## Introdução

Com o aumento do consumo de proteína proveniente de organismos aquáticos e a diminuição dos estoques pesqueiros, a aquicultura tem se desenvolvido de forma significativa nas últimas décadas. Entre seus ramos podemos destacar a carcinicultura, que em 2012 obteve produção mundial de 6,4 milhões de toneladas e nacional de 74.415 toneladas (FAO, 2014).

Esse desenvolvimento gera lucro e renda, mas pode acarretar impactos ambientais negativos, principalmente devido à descarga de efluentes ricos em nutrientes nas águas adjacentes (DE SCHRYVER et al., 2008; JACKSON et al., 2003). Apenas 20 a 30% do nitrogênio da ração utilizada no cultivo são recuperados na biomassa de camarão, o restante é excretado e acumulado na água (AVNIMELECH, 2015; BOYD, 2003; PÁEZ-OSUNA et al., 1997). A expansão desta atividade depende do desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que maximizem a produção por área cultivada, bem como o reuso de água e nutrientes (HU et al., 2015).

A tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) foi desenvolvida como alternativa para a intensificação da produção, utilizando os recursos de forma mais eficiente (CRAB et al., 2012). É mais biossegura quando comparada aos cultivos convencionais, pois minimiza a troca de água com o ambiente (AVNIMELECH, 2006; BURFORD et al., 2004). Os bioflocos são agregados de algas, bactérias, protozoários e matéria orgânica particulada, como restos de alimento e fezes (HARGREAVES, 2013). Nesse sistema, parte do nitrogênio adicionado ao cultivo através do alimento ou excretado na forma de amônia pelos camarões é incorporado nas células bacterianas, que são as principais componentes do bioflocos (HARGREAVES, 2013). Além de servir como fonte de alimento suplementar para o camarão, reduzindo os custos de produção, os bioflocos também mantêm a qualidade da água do cultivo, já que atuam no tratamento da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes (CRAB et al., 2007; HARGREAVES, 2013; RAY et al., 2010). Desta forma, este sistema permite utilizar altas densidades de estocagem para obter maiores produtividades ao final de cada ciclo (TAW, 2011).

Em paralelo ao sistema BFT, muitas alternativas têm sido investigadas para tratar os efluentes e diminuir o impacto da carcinicultura, como os sistemas de recirculação e de policultivo (BUNTING; SHPIGEL, 2009; VAN RIJN, 2013). Os *wetlands* construídos com aplicação de macrófitas aquáticas flutuantes vêm sendo utilizados com êxito no tratamento de efluentes da aquicultura

(SINDILARIU; BRINKER; REITER, 2009; VYMAZAL, 2009). No entanto, existe um reduzido aproveitamento da biomassa vegetal produzida nesses sistemas, onde as plantas devem ser retiradas periodicamente para otimizar a remoção de nutrientes (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008). Outra solução para o aproveitamento dos nutrientes da água do cultivo intensivo é a Aquicultura Multitrófica Integrada (*Integrated Multi-trophic Aquaculture* - IMTA), onde a produção de animais alimentados com ração é integrada à de organismos que absorvem a matéria orgânica e inorgânica (TROELL et al., 2003, 2009).

Alguns autores já obtiveram resultados positivos na produção de vegetais e frutas irrigados com efluente do cultivo de camarões em baixa salinidade. DUFAULT e KORKMAZ (2000) e DUFAULT; KORKMAZ e WARD (2001) reportaram produção de 12,4 t ha<sup>-1</sup> de pimentão e 9,9 t ha<sup>-1</sup> de brócolis, respectivamente, utilizando efluente da carcinicultura combinado com fertilizante comercial. MIRANDA et al. (2008) não encontraram diferenças na produção de melão irrigado com água do cultivo de camarões, suplementado com 75% e 100% da dose de nitrogênio recomendada para o cultivo dessa fruta, concluindo assim que esse efluente pode fornecer até 1/4 do nitrogênio necessário nessa cultura. Em experimento avaliando o cultivo integrado de tomate e camarão em sistema aquapônico, foram produzidas 36,1 t ha<sup>-1</sup> de tomates e 3,9 t ha<sup>-1</sup> de camarões (MARISCAL-LAGARDA et al., 2012).

Da mesma forma, a aquaponia tem se apresentado como alternativa inovadora e sustentável, pois combina aquicultura com hidroponia em um sistema que recircula a água e os nutrientes, de forma a promover o crescimento dos organismos aquáticos e das plantas de maneira integrada (RAKOCY, 2012; TYSON; TREADWEL; SIMONNE, 2011). Em um sistema aquapônico, as plantas podem produzir condições estáveis de qualidade da água para o cultivo de animais, pois assimilam parte dos nutrientes contidos no efluente (BUZBY; LIN, 2014). Além disso, existe a vantagem da diversificação econômica através do cultivo de outros produtos com valor agregado e maior rentabilidade por unidade de cultivo (MARISCAL-LAGARDA et al., 2012; RAKOCY, 2012). O sistema de aquaponia bem manejado pode melhorar a eficiência de remoção de nutrientes, reduzir o uso de água e o descarte de efluentes para o ambiente, além de melhorar a rentabilidade através da produção simultânea de duas culturas (DIVER, 2006). Um sistema aquapônico geralmente é formado por um *layout* simples, contendo um tanque para os animais, um sedimentador para a remoção dos sólidos, um biofiltro para nitrificação e uma bancada

hidropônica para a produção de vegetais como alface, espinafre, tomate, pepino e pimentão (GRABER; JUNGE, 2009; LENNARD; LEONARD, 2006; RAKOCY, 2012). Entretanto, para aplicar esse sistema em cultivos marinhos, é necessário o uso de plantas que tenham valor comercial e que sejam tolerantes à salinidade, para que possam se desenvolver no efluente salino (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013; WEBB et al., 2012).

Neste contexto, as plantas halófitas são reconhecidas por serem cultivadas em áreas onde a concentração de sal seria letal para a maioria das outras espécies (FLOWERS; COLMER, 2008). Essas espécies crescem ao longo de manguezais e marismas, e no Brasil há a ocorrência de espécies como a *Sarcocornia ambigua* (sinônimo *Salicornia gaudichaudiana*) (ALONSO; CRESPO, 2008; COSTA et al., 2006). As plantas do gênero *Sarcocornia* (família Amaranthaceae) são caracterizadas pela morfologia simples, uma vez que produzem somente brotos suculentos aparentemente sem folhas, tem ciclo de vida perene e as flores são alinhadas horizontalmente nos brotos (VENTURA; SAGI, 2013; VENTURA et al., 2011).

Diversos autores reportaram a variedade de aplicações de halófitas dos gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia*. No século XVIII, a *Salicornia* 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, fitorremediação de áreas salinizadas e extração de óleo das sementes para uso industrial (DÍAZ; BENES; GRATTAN, 2013; TIKHOMIROVA et al., 2008; VENTURA; SAGI, 2013).

Para fins de consumo humano, a *Salicornia* foi introduzida no mercado Europeu como um vegetal semelhante ao aspargo verde, sendo consumida na forma de salada e também como tempero devido ao seu sabor salgado (BERTIN et al., 2014). Os brotos jovens e suculentos têm ganhado destaque não só pelo sabor, mas também pelo elevado valor nutricional (BERTIN et al., 2014; LU et al., 2010; VENTURA et al., 2014). Atualmente, *Salicornia bigelovii* é cultivada especialmente para atender o mercado da alta gastronomia nos Estados Unidos e na Europa (AGAWU, 2012). No Brasil, pouca atenção tem sido dada à espécie *Sarcocornia ambigua*, que apresenta grande potencial como alimento funcional devido ao seu conteúdo de compostos fenólicos (BERTIN et al., 2014), o que dificulta a prospecção do mercado nacional dessa espécie.

O uso de plantas halófitas dos gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* vem ganhando destaque também no tratamento de efluentes da aquicultura marinha, por serem tolerantes a salinidades tão elevadas quanto a da água do mar, além de apresentarem alta produtividade e absorção de nutrientes (BUHMANN et al., 2015; GLENN et al., 2013; ROZEMA; SCHAT, 2013; SHPIGEL et al., 2013; WEBB et al., 2012). Entretanto, não foram encontrados na literatura relatos sobre o desempenho de *Sarcocornia ambigua* e de *Litopenaeus vannamei* cultivados em sistema de aquaponia com bioflocos.



## Objetivos

### Objetivo geral

Avaliar o cultivo da halófito *Sarcocornia ambigua* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos microbianos.

### Objetivos específicos

- Determinar o efeito de *S. ambigua* e do sistema de aquaponia na qualidade da água.
- Avaliar o desempenho zootécnico do camarão no cultivo aquapônico.
- Avaliar o crescimento de *S. ambigua* e a utilização dos nutrientes do cultivo.
- Determinar o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante de *S. ambigua* cultivada em aquaponia.

## Formatação do Artigo

### **Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos**

O artigo foi formatado segundo as normas da revista *Ecological Engineering*. Classificação Qualis CAPES A1 na área de Zootecnia e Recursos Pesqueiros e fator de impacto igual a 3,041.

## Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar o cultivo integrado de *Sarcocornia ambigua* e do camarão branco do Pacífico em sistema aquapônico com bioflocos. O experimento foi conduzido por 73 dias e dois tratamentos foram avaliados: Plantas e Controle (sem plantas), com quatro repetições. Cada unidade experimental era formada por um tanque de 800 L, um sedimentador cilindro-cônico de 40 L e uma bancada hidropônica de 0,4 m<sup>2</sup> de área de plantio e capacidade para 40 plantas. A água do tanque de camarões foi bombeada continuamente para o sedimentador e o sobrenadante era distribuído na bancada hidropônica para irrigar as plantas e posteriormente retornar ao tanque por gravidade. Os tanques foram povoados com 250 camarões m<sup>-3</sup> (1,4±0,01 g). Os camarões foram alimentados com dieta comercial contendo 35% de proteína bruta quatro vezes ao dia. Oxigênio dissolvido e temperatura foram monitorados duas vezes ao dia. Amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, sólidos suspensos totais, alcalinidade e pH foram medidos duas vezes por semana. Ao final do experimento foram analisados conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante nas plantas, assim como a determinação do nitrogênio total Kjeldahl nas plantas, nos camarões e na ração. Não foram observadas diferenças significativas no desempenho zootécnico de *L. vannamei*. A biomassa final média de camarão foi de 2,1±0,05 kg m<sup>-3</sup>, com sobrevivência média de 73,5±1,9%, peso médio final de 11,7±0,4 g e fator de conversão alimentar de 1,7±0,06. A produção de plantas foi de 8,2±0,3 kg m<sup>-2</sup>. A qualidade da água do cultivo se manteve adequada para o cultivo de camarões marinhos. A atividade antioxidante de *S. ambigua* era de 38,30±1,28 µmol TEAC 100 g<sup>-1</sup> MF, caracterizando essa espécie como alimento funcional. O aproveitamento do nitrogênio fornecido ao sistema através da ração foi mais elevado no tratamento com plantas (39,3%) do que em Controle (31,4%). No sistema de aquaponia proposto foi possível produzir *L. vannamei* e *S. ambigua* de forma integrada, otimizando o aproveitamento dos nutrientes do cultivo.

Palavras-chave: camarão marinho, BFT, nitrogênio, antioxidante.

## 1. Introdução

A expansão da aquicultura depende do desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias orientadas à maximização da produção com menor impacto ambiental (Hu et al., 2015). Nesse contexto, a tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) tem demonstrado ser uma alternativa racional para a intensificação da produção (Crab et al., 2012). O sistema BFT apresenta como características altas densidades de estocagem, troca de água limitada, intensa aeração e oxigenação e o acúmulo de flocos microbianos (Ebeling et al., 2006; Ray et al., 2010). Nesse sistema os recursos são utilizados de forma mais eficiente e biossegura, quando comparado aos convencionais (Avnimelech, 2006; Burford et al., 2004).

Em grande parte dos sistemas de cultivo aquícolas convencionais, extensivo e semi-intensivo, os animais cultivados retêm apenas parte do nitrogênio e fósforo adicionados ao sistema através da ração, sendo o restante liberado para o ambiente circundante (Buhmann et al., 2015). Em sistemas biosseguros e intensivos, tais como o BFT, menos efluente é formado, mas com maiores concentrações de compostos nitrogenados (Quintã et al., 2015). Esse excesso de nutriente pode ser reduzido com a utilização de plantas em um sistema integrado de cultivo (Buhmann et al., 2015).

Dessa forma, a aquaponia é uma solução inovadora e sustentável, pois une o cultivo de animais aquáticos com a produção hidropônica de plantas (Tyson et al., 2011). Um sistema aquapônico bem manejado pode melhorar a eficiência de remoção de nutrientes, reduzir o uso de água e o descarte de efluentes para o ambiente e melhorar a rentabilidade através da produção simultânea de duas culturas (Diver, 2006). Ao invés de serem descartados no ambiente, os compostos fosfatados e nitrogenados residuais podem ser absorvidos pelas plantas, utilizando os nutrientes de forma sustentável (Hu et al., 2015). Porém, para a integração da hidroponia com a aquicultura marinha, plantas tolerantes à salinidade, ou halófitas, devem ser utilizadas (Buhmann e Papenbrock, 2013a).

Neste contexto, as plantas halófitas são reconhecidas por serem cultivadas em áreas onde a concentração de sal seria letal para a maioria das outras espécies (Flowers e Colmer, 2008). Essas espécies crescem ao longo de manguezais e marismas, e no Brasil há a ocorrência de espécies como a *Sarcocornia ambigua* (sinônimo *Salicornia gaudichaudiana*) (Alonso e Crespo, 2008; Costa et al., 2006). As plantas do gênero *Sarcocornia* (família Amaranthaceae) são caracterizadas pela

morfologia simples, uma vez que produzem somente brotos suculentos aparentemente sem folhas, tem ciclo de vida perene e as flores são alinhadas horizontalmente nos brotos (Ventura e Sagi, 2013; Ventura et al., 2011).

Para fins de consumo humano, a *Salicornia* foi introduzida no mercado Europeu como um vegetal semelhante ao aspargo verde, sendo consumida na forma de salada e também como tempero (Bertin et al., 2014). Os brotos jovens e suculentos têm ganhado destaque não só pelo sabor, mas também pelo elevado valor nutricional em termos de composição mineral e compostos bioativos, tais como os compostos fenólicos (Bertin et al., 2014; Ventura e Sagi, 2013).

Alguns autores já obtiveram resultados positivos na produção de vegetais irrigados com efluente da carcinicultura (Dufault e Korkmaz, 2000; Dufault et al., 2001; Mariscal-Lagarda et al., 2012; Miranda et al., 2008) e no tratamento de efluentes marinhos com o uso de plantas halófitas dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* (Buhmann et al., 2015; Glenn et al., 2013; Rozema et al., 2013; Shpigel et al., 2013; Webb et al., 2012). Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o cultivo da halófito *Sarcocornia ambigua* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos microbianos.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Material biológico**

#### **2.1.1 Camarões**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina, região Sul do Brasil. Pós-larvas de *Litopenaeus vannamei*, provenientes de uma linhagem livre de patógenos específicos (SpeedLine SPF), foram adquiridos de um laboratório comercial (Aquatec Ltda., Canguaretama, RN, Brasil) e cultivados no LCM em um tanque berçário de 50 m<sup>3</sup> em sistema intensivo com bioflocos microbianos até atingirem o peso necessário para o início do experimento.

#### **2.1.2 Plantas**

As mudas foram produzidas através de propagação vegetativa (estaquia) em sistema aquapônico de leito flutuante. Plantas matrizes de *Sarcocornia ambigua* do banco do LCM foram cortadas em estacas de

10 centímetros de comprimento, sem folhas e com a parte inferior em bisel. Essas estacas foram plantadas em placas de isopor, deixando cerca de 2 cm submerso para o enraizamento. As placas permaneceram flutuando em um tanque circular com aeração e 20 m<sup>3</sup> de água do cultivo de camarões em bioflocos, onde permaneceram por 60 dias. Após esse período, 160 mudas foram pesadas individualmente (peso médio de 4,35±2,98 gramas) e transferidas para o sistema de aquaponia.

## 2.2 Delineamento experimental, unidades experimentais e manejo do sistema

Cada unidade experimental aquapônica consistia de um tanque de cultivo em BFT de 800 L de volume útil, com aquecimento, aeração e substratos artificiais, um sedimentador e uma bancada hidropônica para as plantas (Fig. 1).

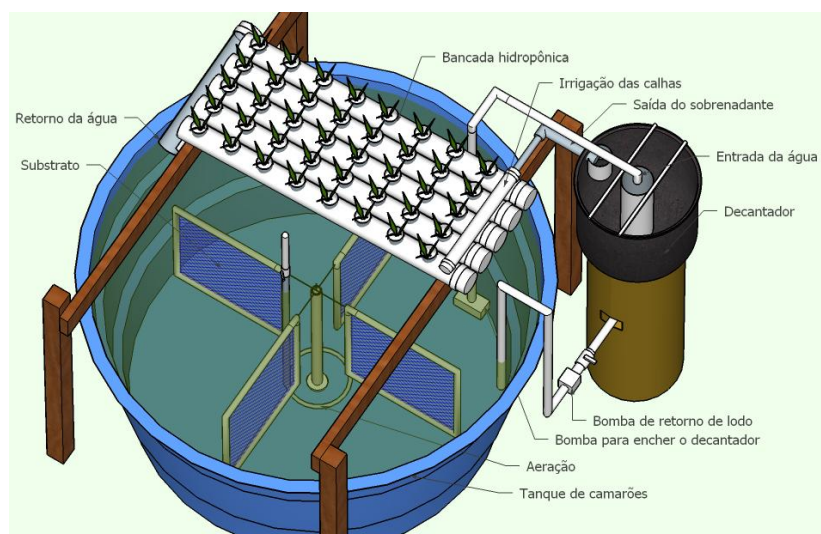


Fig. 1. Unidade experimental aquapônica utilizada no experimento.

Um dia antes do início do experimento, os tanques foram preenchidos com água do tanque matriz de 50 m<sup>3</sup> (sólidos suspensos totais = 425,0 mg L<sup>-1</sup>; nitrogênio amoniacal total = 0,0 mg L<sup>-1</sup>; nitrito = 0,8 mg L<sup>-1</sup> e nitrato = 65,8 mg L<sup>-1</sup>). Os bioflocos no tanque matriz já estavam em estágio quimiotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido. Sendo assim, durante o período experimental, não foi necessária adição extra de carbono orgânico para a manutenção dos

parâmetros de qualidade de água (Ebeling et al., 2006). Cada tanque foi povoado com 200 camarões com peso médio de  $1,4 \pm 0,01$  gramas, mantendo uma densidade inicial de 250 camarões  $m^{-3}$ .

A estrutura para o cultivo das plantas foi construída 0,5 m acima do nível da água de cada tanque de cultivo de camarões. Esta foi modelada a partir do sistema de Filme Nutriente (NFT – *Nutrient Film Technique*), onde as raízes das plantas permanecem parcialmente submersas em um filme de água que passa através dos canais de irrigação (Lennard e Leonard, 2006). Esses canais eram formados por cinco tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 1,10 metros de comprimento, dispostos lado a lado. Os tubos foram pintados com tinta esmalte alumínio para refletir a luz e evitar o aquecimento do filme de água (Rodrigues, 2002) e apoiados em suportes de madeira com declividade de 4%. Cada canal continha oito mudas, distanciadas em 12 cm (Izeppi, 2011). Cada bancada tinha  $0,4 m^2$  de área de plantio com capacidade para 40 mudas de *Sarcocornia ambigua*, o que equivale a uma densidade de 100 plantas  $m^{-2}$ . Cada planta foi acomodada em um suporte de tela de nylon e cano de PVC de 50 mm de diâmetro, onde foi adicionado perlita como substrato (Ventura et al., 2011).

Para proteger as raízes do excesso de sólidos provenientes do cultivo de camarões (Hu et al., 2015), antes da irrigação foi usado um sedimentador de formato cilindro-cônico e volume de 40 litros (Baloi et al., 2013). A água do tanque era bombeada continuamente numa vazão de  $3,0 L min^{-1}$  com o uso de uma bomba submersa (Sarlo Better modelo SB650, São Caetano do Sul, SP, Brasil). Uma mangueira de PVC de 1 polegada conectava a saída superior do sedimentador a um tubo de PVC de 50 mm disposto perpendicularmente sobre a bancada, e mangueiras de PVC de 3/8” distribuíam a água em cada canal por gravidade. Após irrigar as plantas, a água era recolhida em uma calha no final da bancada e 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 hora o lodo acumulado no sedimentador era bombeado por 40 segundos de volta ao tanque através de uma eletrobomba (Emicol, Itu, SP, Brasil) conectada na saída inferior do decantador, numa vazão de  $15 L min^{-1}$ . Dessa forma, as calhas permaneciam sem irrigação por aproximadamente 3 minutos, até que fosse restabelecido o nível da água no sedimentador.

Nas unidades experimentais aquapônicas, foram avaliados dois tratamentos, Plantas e Controle. O tratamento Controle apresentava o mesmo sistema e modo de operação, porém sem plantas nas bancadas.

Cada tratamento tinha quatro repetições, totalizando oito unidades experimentais que foram distribuídas aleatoriamente em uma estufa de 243 m<sup>2</sup>.

Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia (0800, 1100, 1400 e 1700) com ração de 35% de proteína bruta (Guabi Potimar, Campinas, SP, Brasil). A quantidade de ração fornecida foi calculada semanalmente com base no ganho em peso, sobrevivência e conversão alimentar esperados (Ray et al., 2010). Hidróxido de cálcio foi adicionado quando a alcalinidade esteve abaixo de 120 mg L<sup>-1</sup>, numa proporção de 20% do ingresso diário de ração (Schweitzer et al., 2013). Ao longo do período experimental não houve renovação de água, sendo repostos apenas o volume perdido por evaporação.

Semanalmente foram determinadas a intensidade luminosa no interior da estufa às 14 horas, que variou de 67,0 a 1254,7  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e a temperatura, que variou de 27 a 43 °C. O fotoperíodo durante o experimento foi 14 horas claro e 10 horas escuro.

### 2.3 Variáveis de qualidade de água

Durante o experimento, o oxigênio dissolvido e a temperatura foram medidos duas vezes ao dia, às 0800 e 1700 (oxímetro YSI modelo Pro20). As análises de pH (pHmetro YSI modelo pH100), sólidos suspensos totais, nitrato, alcalinidade (APHA, 2005), amônia (nitrogênio amoniacal total – NAT), nitrito, ortofosfato (Strickland e Parsons, 1972) e salinidade (salinômetro digital YSI modelo EC300A) foram realizadas duas vezes por semana.

### 2.4 Desempenho zootécnico dos camarões

Para avaliação da taxa de crescimento semanal, 20 camarões de cada unidade experimental eram amostrados para biometria. O experimento teve duração de dez semanas. Após o período experimental, os seguintes índices zootécnicos foram avaliados:

**Peso médio final (g)** = biomassa (g) / número final de animais

**Ganho de peso semanal (gramas por semana)** = {(peso médio final (g) – peso médio inicial (g)) / dias de cultivo \* 7}

**Biomassa final (g.m<sup>-3</sup>)** = biomassa despescada (g) / volume do tanque (m<sup>3</sup>)

**Sobrevivência (%)** = (número final de camarões / número inicial de camarões) \* 100

**Fator de conversão alimentar** = ração consumida (g) / ganho de biomassa (g)

## 2.5 Índices de produção das plantas

Ao término do período experimental, todas as plantas foram pesadas individualmente. Foram então calculados peso médio final (g), biomassa final (kg), ganho de biomassa (kg) e produção (kg m<sup>-2</sup>).

## 2.6 Análise de nitrogênio da planta, do camarão e da ração

Para a determinação do conteúdo de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), ao final do cultivo foram coletados 15 camarões e 1 quilo de *Sarcocornia* de cada unidade experimental, bem como uma amostra da ração utilizada. As análises foram realizadas conforme a metodologia descrita pela AOAC (2005).

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

Extratos de plantas de cada unidade experimental foram preparados usando 10 g de amostra fresca (parte aérea) com 25 mL de metanol em um banho ultrassônico (Unique, 1400a, São Paulo, SP, Brasil) em temperatura ambiente por uma hora. Posteriormente, foram centrifugados a 10000 RPM por 5 minutos (Eppendorf MiniSpin Plus). O sobrenadante foi então recuperado para a execução das análises.

A atividade antioxidante contra o radical DPPH foi determinada em triplicata de acordo com o método de (Brand-Willians et al., 1995) e foi expressa em  $\mu\text{mol}$  de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox por 100 gramas de matéria fresca ( $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (Bertin et al., 2014).

O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado de acordo com o método de Folin-Ciocalteu (Singleton e Rossi, 1965) e os valores foram expressos em mg de equivalentes a ácido gálico por 100 gramas de matéria fresca ( $\text{mg EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ).

## 2.8 Análise estatística

As variáveis de qualidade de água foram analisadas através de ANOVA unifatorial com medidas repetidas. Os dados zootécnicos e de recuperação de nitrogênio foram comparados usando ANOVA



unifatorial. Homocedasticidade e normalidade foram testadas através dos testes Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente. Todos os testes estatísticos foram avaliados com nível de significância de 5%.

### 3. Resultados

#### 3.1 Variáveis de qualidade de água

As variáveis de qualidade de água analisadas são apresentadas na Tabela 1. Temperatura ( $30,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$ ) e oxigênio dissolvido ( $5,8 \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$ ) foram semelhantes nos dois tratamentos. O pH permaneceu constante ao longo do cultivo e não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ). Também não foi detectada diferença estatística para a salinidade, que apresentou médias similares entre os dois tratamentos ( $36,5 \pm 1,5 \text{ g L}^{-1}$ ). A alcalinidade foi mais elevada no tratamento Plantas ( $163,5 \pm 18,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) do que no Controle ( $150,8 \pm 13,8 \text{ mg L}^{-1}$ ).

A concentração de sólidos suspensos totais foi menor no tratamento Plantas ( $333,8 \pm 53,9 \text{ mg L}^{-1}$ ) do que Controle ( $371,3 \pm 53,2 \text{ mg L}^{-1}$ ). Não houve diferença significativa na concentração de ortofosfato entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ). A concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) aumentou ao longo do tempo de cultivo nos dois tratamentos, mas foi mais elevada durante as semanas 7 e 8 no tratamento Plantas (Fig. 2-a). As concentrações de nitrito foram mais elevadas no tratamento Plantas entre as semanas 5 e 9 (Fig. 2-b). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de nitrato ( $P > 0,05$ ), que apresentou média em ambos os tratamentos de  $22,2 \pm 16,8 \text{ mg L}^{-1}$  (Fig. 2-c).

Tabela 1. Variáveis de qualidade da água nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia durante 73 dias em densidade de 250 camarões m<sup>-3</sup>.

Parâmetro	Tratamento		ANOVA		
	Plantas	Controle	T	S	TxS
Temperatura (°C)	29,5±0,6 (27,8 – 32,9)	29,8±0,6 (28,5 – 33,4)	-	-	-
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	5,67±0,17 (4,82 – 7,16)	5,57±0,19 (4,7 – 7,11)	-	-	-
Salinidade (g L <sup>-1</sup> )	36,2±1,6 (31 – 38)	36,4±1,5 (34 – 39)	ns	*	ns
pH	8,0±0,1 (7,8 – 8,2)	8,0±0,1 (7,8 – 8,1)	ns	*	ns
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )	163,5±18,5 (136 – 208)	150,8±13,8 (118 – 182)	*	*	*
Sólidos Suspensos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	333,8±53,9 (257 – 459)	371,3±53,2 (266 – 445)	*	*	*
Amônia total – N (mg L <sup>-1</sup> )	0,3±0,1 (0,0 – 0,5)	0,2±0,1 (0,0 – 0,6)	*	*	*
Nitrito (mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	0,6±0,3 (0,1 – 1,1)	0,4±0,3 (0,0 – 1,0)	*	*	*
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	21,4±17,0 (6,0 – 79,2)	22,9±16,7 (10,2 – 80,6)	ns	*	*
Ortofosfato (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup> )	5,3±1,1 (2,5 – 7,5)	5,5±1,0 (3,1 – 7,4)	ns	*	ns

Dados médios ± desvio padrão (mínimo e máximo). ANOVA com medidas repetidas, T (tratamento), S (semanas), TxS (interação Tratamento x Semanas), \*Diferença significativa ( $P < 0,05$ ); ns: não significativo.

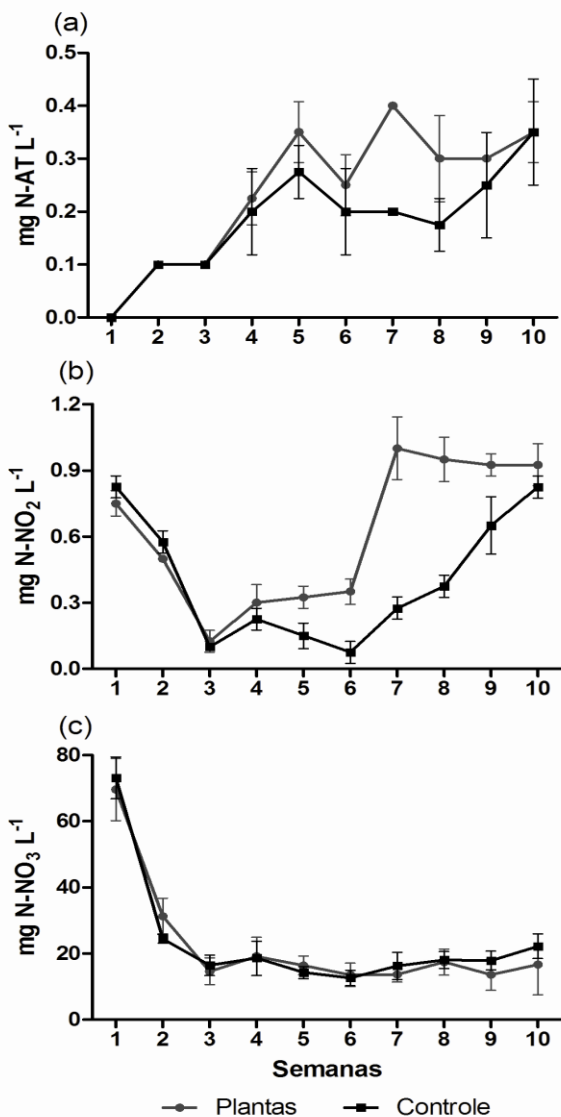


Fig. 2. (a) Nitrogênio amoniacal total (NAT), (b) nitrito e (c) nitrato nos tanques de *Litopenaeus vannamei* cultivado em aquaponia durante 73 dias em densidade de 250 camarões m<sup>-3</sup>.

### 3.2 Desempenho zootécnico de *Litopenaeus vannamei*

Os dados de produção do camarão são apresentados na Tabela 2. Não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros zootécnicos analisados.

Tabela 2. Índices de produção de *L. vannamei* cultivado em sistema aquapônico com bioflocos em densidade de 250 camarões  $m^{-3}$  durante 73 dias.

Parâmetro	Tratamento	
	Plantas	Controle
Peso médio final (g)	11,6±0,3	11,7±0,5
Ganho de peso semanal (g semana <sup>-1</sup> )	1,0±0,0	1,0±0,0
Biomassa final (g m <sup>-3</sup> )	2159,4±0,0	2121,9±0,1
Sobrevivência (%)	74,5±2,1	72,5±1,2
Fator de conversão alimentar	1,7±0,1	1,7±0,1
Ganho de biomassa (g)	1450,5±29,8	1423,5±46,7

Dados médios ± desvio padrão.

### 3.3 Produção de *Sarcocornia ambigua*

Ao final do experimento, foram colhidos 3,3±0,1 kg de *S. ambigua* em cada unidade experimental, o que equivale a uma produção de 8,2±0,3 kg m<sup>-2</sup>. O peso médio final das plantas era de 85,08±59,07 g e o ganho de biomassa de plantas em cada unidade aquapônica foi de 3,1±0,2 kg.

### 3.4 Utilização do nitrogênio

O conteúdo de nitrogênio presente na ração, no camarão e na planta eram 5,2%, 2,7±0,1% e 0,4±0,0% respectivamente. Durante o cultivo foram adicionados 2418±37,1 g de alimento por unidade experimental, o que corresponde a 124,7±1,9 g de nitrogênio por tanque. A recuperação do nitrogênio na forma de produto foi maior no tratamento Plantas ( $P < 0,05$ ), onde 37,8±1,7 g e 11,5±0,7 g de nitrogênio foram recuperados na biomassa de camarão e *S. ambigua*, respectivamente, representando 39,3% do nitrogênio adicionado (Fig.3).

No tratamento Controle,  $38,9 \pm 3,2$  g foram recuperados na biomassa de camarão, o que corresponde a 31,4% do ingresso de nitrogênio da ração.

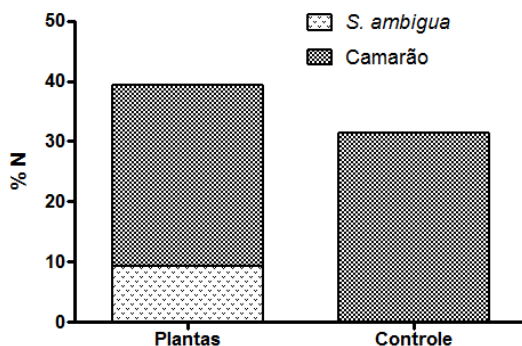


Fig. 3. Recuperação do nitrogênio da ração (%) na forma de camarão e plantas cultivados no sistema de aquaponia durante 73 dias.

### 3.5 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de *Sarcocornia ambigua*

O conteúdo fenólico do extrato de *S. ambigua* determinado a partir da curva padrão de ácido gálico foi  $41,34 \pm 1,67$  mg EAG  $100 \text{ g}^{-1}$  MF. A atividade antioxidante medida por DPPH foi de  $38,30 \pm 1,28$   $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1}$  MF.

## 4. Discussão

### 4.1 Qualidade da água do cultivo

Temperatura, oxigênio dissolvido, pH e salinidade apresentaram-se dentro dos limites adequados para o cultivo de *L. vannamei* em sistema de bioflocos (Baloi et al., 2013; Ray et al., 2010; Vinatea et al., 2010).

No cultivo BFT, o uso dos sedimentadores reduz a concentração de sólidos e melhora a qualidade da água e o desempenho zootécnico do camarão (Ray et al., 2010; Schweitzer et al., 2013). Durante o período experimental não foi realizada nenhuma retirada de sólidos do sistema, uma vez que houve retorno dos sólidos pelo fundo do sedimentador. Apesar disso, é possível que tenha ocorrido retenção e a degradação dos sólidos no interior do sedimentador e nas calhas da bancada

hidropônica, uma vez que houve redução na concentração de SST na água do cultivo (Rakocy, 2012; Ray et al., 2010). Essa redução foi observada nos dois tratamentos, mas foi mais acentuada no tratamento Plantas, possivelmente devido à retenção de SST na zona de raízes (Jewell et al., 1983). Contudo, o acúmulo de matéria orgânica nos canais de irrigação das plantas pode ser benéfico, uma vez que a decomposição dos sólidos pode liberar nutrientes inorgânicos essenciais ao crescimento das plantas, em um processo conhecido como mineralização (Rakocy, 2012).

A diminuição na concentração de SST provavelmente foi responsável também pela redução da biomassa de bactérias nitrificantes no sistema (Hu et al., 2015) levando ao acúmulo gradual de NAT nos dois tratamentos no transcorrer das semanas. Com o crescimento das bactérias oxidantes de amônia, o NAT acumulado foi gradativamente oxidado a  $\text{NO}_2$  (Hu et al., 2015). A oxidação do nitrito a nitrato é um processo que ocorre mais lentamente, resultando no acúmulo de  $\text{NO}_2$  e na manutenção das baixas concentrações de  $\text{NO}_3$  no sistema (Ebeling et al., 2006; Ray et al., 2011). A concentração de nitrato, por sua vez, diminuiu nas primeiras semanas do experimento. Essa redução pode ser devido à ocorrência de desnitrificação no sedimentador e a redução do processo de nitrificação causados pela adaptação do sistema (Ray et al., 2011). Posteriormente, a estabilidade nas concentrações de  $\text{NO}_3$  pode estar relacionada à preferência de absorção de  $\text{NH}_4$  por *S. ambigua*. Espécies dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* podem utilizar tanto  $\text{NO}_3$  quanto  $\text{NH}_4$  como fonte de nitrogênio (Quintã et al., 2015), entretanto, em condições de alta salinidade, como a utilizada neste experimento, a absorção de  $\text{NO}_3$  pode ser diminuída e o uso de  $\text{NH}_4$  torna-se mais favorável para o crescimento de halófitas (Kudo e Fujiyama, 2010; Quintã et al., 2015).

Em sistemas de aquicultura marinhos, as concentrações típicas de ortofosfato variam de 1 a 15  $\text{mg L}^{-1}$ , dependendo do sistema, podendo alcançar valores mais elevados no cultivo em bioflocos (Orellana et al., 2014; Ray et al., 2011). Em plantas halófitas, a absorção de fosfato é diretamente proporcional à concentração de fósforo na solução, e pode diminuir em salinidades elevadas (Buhmann et al., 2015). Nesse estudo, as baixas concentrações de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  não afetaram o crescimento de *S. ambigua*, uma vez que valores tão baixos quanto 0,3  $\text{mg L}^{-1}$  são suficientes para o crescimento de espécies halófitas (Buhmann et al., 2015).

## 4.2 Desempenho zootécnico de *Litopenaeus vannamei* e produção de *Sarcocornia ambigua*

O desempenho zootécnico de *L. vannamei* foi similar ao observado em outros cultivos em sistema de bioflocos. Peso final, biomassa final e sobrevivência foram próximos aos obtidos por Ray et al. (2010). O ganho de peso semanal foi similar ao obtido por Jatobá et al. (2014) nas mesmas condições experimentais e o fator de conversão alimentar foi próximo ao obtido por McIntosh et al. (2001). No presente estudo não foram detectadas diferenças nos índices de produção entre os tratamentos, indicando que a presença das plantas no sistema de aquaponia proposto não prejudica o desenvolvimento do camarão marinho (Lennard e Leonard, 2006; Mariscal-Lagarda et al., 2012)

O potencial produtivo de uma halófito pode variar de acordo com a espécie e a salinidade à qual é submetida durante o cultivo (Ventura e Sagi, 2013; Ventura et al., 2011). Espécies do gênero *Sarcocornia* são caracterizadas por apresentar crescimento lento e baixa produtividade quando irrigadas com água marinha (Ventura et al., 2011). Contudo, após 73 dias de experimento, a produção média de biomassa fresca de *S. ambigua* foi de 8 kg m<sup>-2</sup>. Esse valor é superior ao obtido em cultivos em alta salinidade de espécies do gênero *Sarcocornia*. Ventura et al. (2011) reportaram produção de 6 kg m<sup>-2</sup> em cultivo hidropônico com água do mar enriquecida com fertilizante. Em um cultivo experimental de *S. ambigua* irrigada com efluente da carcinicultura realizado no Brasil foram obtidos em média até 2 kg m<sup>-2</sup> de biomassa fresca após 150 dias de cultivo (Izeppi, 2011).

## 4.3 Recuperação do nitrogênio no sistema

Uma das características de um sistema de cultivo intensivo é a oferta de elevada quantidade de alimento rico em nutrientes. A proteína é o componente mais caro da ração, e o alimento representa mais da metade dos custos de produção (Casillas-Hernández et al., 2007). Entretanto, somente cerca de 30% do N adicionado ao sistema através da ração é recuperado na biomassa dos peixes ou camarões despoçados (Endut et al., 2013). Assim, a eficiência de um sistema aquícola pode ser avaliada com base na conversão do N em biomassa despoçada (Endut et al., 2013). Nesse estudo, o conteúdo de nitrogênio presente no camarão e na planta foram 2,7 e 0,4%, respectivamente, e estão de acordo aos reportados na literatura (Bertin et al., 2014; Jackson et al., 2003; Lu et al., 2010). O N recuperado na forma de biomassa de *L.*

*vannamei* (16,2 gramas por quilo de ração adicionada) está próximo aos valores reportados por outros autores em cultivos semi-intensivos de camarão marinho (Casillas-Hernández et al., 2006; Páez-Osuna et al., 1997). Apesar disso, a utilização do nitrogênio adicionado ao sistema através da ração foi mais eficiente no cultivo integrado de camarões e plantas, mesmo com o baixo teor de N encontrado em *S. ambigua*.

#### **4.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de *Sarcocornia ambigua***

Os compostos fenólicos são os principais metabólitos secundários das plantas e estão diretamente relacionados à atividade antioxidante em halófitas (Essaidi et al., 2013; Gargouri et al., 2013). Nas amostras de *S. ambigua* cultivadas no sistema de aquaponia, o conteúdo de compostos fenólicos foi moderado ( $41,34 \pm 1,67$  mg EAG  $100\text{ g}^{-1}$  MF) e está próximo ao reportado por Gargouri et al. (2013) em extrato de *Sarcocornia perennis*, mas inferior aos valores encontrados em extratos de espécies de *Salicornia* que, dependendo das condições de cultivo, apresentam valores próximos a  $200$  mg EAG  $100\text{ g}^{-1}$  MF (Essaidi et al., 2013; Ventura et al., 2011). Contudo, os valores encontrados em *S. ambigua* estão próximos aos encontrados em outros vegetais folhosos classificados como ricos em compostos fenólicos ( $> 50$  mg EAG  $100\text{ g}^{-1}$  MF) (Isabelle et al., 2010a), uma vez que a produção destes compostos pode variar de acordo com a espécie e as condições ambientais às quais as plantas são submetidas, dentre eles a salinidade, disponibilidade de água e nutrientes e intensidade luminosa (Buhmann e Papenbrock, 2013a; Ventura e Sagi, 2013).

O extrato de *S. ambigua* analisado apresentou moderada atividade antioxidante e sequestro dos radicais livres ( $38,30 \pm 1,28$   $\mu\text{mol TEAC } 100\text{ g}^{-1}$  MF), e está relacionado ao conteúdo de compostos fenólicos encontrado nas amostras (Gargouri et al., 2013). Os resultados obtidos neste estudo estão próximos ao apresentado por Bertin et al. (2014) para a mesma espécie irrigada com o efluente do cultivo de *L. vannamei*, entretanto os mesmos autores reportaram valores mais elevados ( $135,83 \pm 5,00$   $\mu\text{mol TEAC } 100\text{ g}^{-1}$  MF) para amostras de *S. ambigua* coletadas em ambiente natural.

A síntese de compostos antioxidantes é uma das respostas do metabolismo da planta ao dano oxidativo (Bertin et al., 2014; Ksouri et al., 2008). O estresse salino em halófitas pode levar à produção de espécies reativas de oxigênio, afetando a integridade da membrana celular e a atividade enzimática (Buhmann e Papenbrock, 2013b;



Ventura et al., 2011). O crescimento em condições além daquelas consideradas ótimas podem induzir o estresse e, conseqüentemente, resultar em aumento nos metabólitos secundários, tais como os antioxidantes (Boestfleisch et al., 2014). De acordo com os resultados encontrados nesse estudo, é possível que as plantas cultivadas no sistema aquapônico não estivessem submetidas a estresse ou já haviam se adaptado às condições impostas pelo cultivo (Boestfleisch et al., 2014).

Ainda assim, as concentrações de compostos fenólicos e a atividade antioxidante de *S. ambigua* cultivada nesse estudo são comparáveis às encontradas em alguns vegetais, como aspargo, pimentão verde, cebola e tomate (Isabelle et al., 2010a; Kähkönen et al., 1999) e frutas, como nectarina, mamão papaia e abacaxi (Isabelle et al., 2010b), e indicam que o cultivo de *S. ambigua* em água marinha pode ser uma opção viável para a produção de metabólitos secundários (Buhmann e Papenbrock, 2013b).

## 5. Conclusões

Ao contrário do esperado, o uso de *Sarcocornia ambigua* no cultivo aquapônico com *Litopenaeus vannamei* não interferiu nas concentrações de nitrato e ortofosfato. As diferenças encontradas na qualidade da água, ocasionadas pela presença das plantas no sistema de aquaponia proposto, não interferiram no desempenho zootécnico do camarão. Nesse sistema de cultivo, foram encontrados em *Sarcocornia ambigua* quantidades de compostos fenólicos e atividade antioxidante que a caracterizam como fonte promissora de antioxidantes naturais para consumo humano. Na estrutura de aquaponia idealizada foi possível aproveitar os nutrientes do cultivo de camarão para a produção de *S. ambigua*, com melhor aproveitamento do nitrogênio da ração.

## 6. Referências bibliográficas

- Alonso, M.Á., Crespo, M.B., 2008. Taxonomic and Nomenclatural Notes on South American Taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). Ann. Bot. Fenn. 45, 241–254. doi:10.5735/085.045.0401
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis, 18<sup>o</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.

- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>o</sup> ed. American Public Health Association, Washington.
- Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquac. Eng.* 34, 172–178. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.04.001
- Baloi, M., Arantes, R., Schweitzer, R., Magnotti, C., Vinatea, L., 2013. Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquac. Eng.* 52, 39–44. doi:10.1016/j.aquaeng.2012.07.003
- Bertin, R.L., Gonzaga, L.V., Borges, G. da S.C., Azevedo, M.S., Maltez, H.F., Heller, M., Micke, G.A., Tavares, L.B.B., Fett, R., 2014. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. *Food Res. Int.* 55, 404–411. doi:10.1016/j.foodres.2013.11.036
- Boestfleisch, C., Wagenseil, N.B., Buhmann, A.K., Seal, C.E., Wade, E.M., Muscolo, A., Papenbrock, J., 2014. Manipulating the antioxidant capacity of halophytes to increase their cultural and economic value through saline cultivation. *AoB Plants* 6. doi:10.1371/
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Leb. Technol. - LWT* 28, 25–30.
- Buhmann, A., Papenbrock, J., 2013a. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environ. Exp. Bot.* 92, 122–133. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.07.005
- Buhmann, A., Papenbrock, J., 2013b. An economic point of view of secondary compounds in halophytes. *Funct. Plant Biol.* 40, 952–967. doi:10.1071/FP12342
- Buhmann, A.K., Waller, U., Wecker, B., Papenbrock, J., 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agric. Water Manag.* 149, 102–114. doi:10.1016/j.agwat.2014.11.001

- Burford, M. a., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232, 525–537. doi:10.1016/s0044-8486(03)00541-6
- Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clarck, G., Páez-Osuna, F., 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture* 258, 289–298. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.03.027
- Casillas-Hernández, R., Nolasco-Soria, H., García-Galano, T., Carrillo-Farnes, O., Páez-Osuna, F., 2007. Water quality, chemical fluxes and production in semi-intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds utilizing two different feeding strategies. *Aquac. Eng.* 36, 105–114. doi:10.1016/j.aquaeng.2006.09.001
- Costa, C.S., Armstrong, R., Detres, Y., Koch, E.W., Bertiller, M., Beeskow, A., Neves, L.S., Tourn, G.M., Bianciotto, O.A., Pinedo, L.B., Blessio, A.Y., San Roman, N., 2006. Effect of ultraviolet-B radiation on salt marsh vegetation: Trends of the genus *Salicornia* along the Americas. *Photochem. Photobiol.* 82, 878–886. doi:10.1562/2005-10-30-RA-729
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357, 351–356. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.04.046
- Diver, S., 2006. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. *ATTRA Natl. Sustain. Agric. Inf. Serv. Natl. Cent. Approp. Technol.* 28.
- Dufault, R., Korkmaz, A., 2000. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer in bell pepper production. *Compost Sci. Util.* 8, 310–319.
- Dufault, R., Korkmaz, A., Ward, B., 2001. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertilizer for broccoli production. *Compost Sci. Util.* 9, 107–114.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and

- heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.03.019
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., 2013. Nitrogen budget and effluent nitrogen components in aquaponics recirculation system. *Desalin. Water Treat.* 52, 744–752. doi:10.1080/19443994.2013.826336
- Essaïdi, I., Brahmi, Z., Snoussi, A., Ben Haj Koubaier, H., Casabianca, H., Abe, N., El Omri, A., Chaabouni, M.M., Bouzouita, N., 2013. Phytochemical investigation of Tunisian *Salicornia herbacea* L., antioxidant, antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. *Food Control* 32, 125–133. doi:10.1016/j.foodcont.2012.11.006
- Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.* 179, 945–963. doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x
- Gargouri, M., Magne, C., Dauvergne, X., Ksouri, R., El Feki, A., Metges, M.A., Talarmin, H., 2013. Cytoprotective and antioxidant effects of the edible halophyte *Sarcocornia perennis* L. (swampfire) against lead-induced toxicity in renal cells. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 95, 44–51. doi:10.1016/j.ecoenv.2013.05.011
- Glenn, E.P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martinez-Garcia, R., Pearlstein, S., Soliz, D., Nelson, S.G., Felger, R.S., 2013. Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop. *Environ. Exp. Bot.* 92, 110–121. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.05.002
- Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C., Khanal, S.K., 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresour. Technol.* doi:10.1016/j.biortech.2015.01.013
- Isabelle, M., Lee, B.L., Lim, M.T., Koh, W.P., Huang, D., Ong, C.N., 2010a. Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore. *Food Chem.* 120, 993–1003. doi:10.1016/j.foodchem.2009.11.038
- Isabelle, M., Lee, B.L., Lim, M.T., Koh, W.P., Huang, D., Ong, C.N., 2010b. Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. *Food Chem.* 123, 77–84. doi:10.1016/j.foodchem.2010.04.002

- Izeppi, E.M., 2011. Efeitos da densidade de plantio na sobrevivência, desenvolvimento e produção de biomassa da halófito *Sarcocornia ambigua* (michx.) Alonso & Crespo. Master Sci. Aquac. Universidade Federal do Rio Grande.
- Jackson, C., Preston, N., Thompson, P.J., Burford, M., 2003. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. *Aquaculture* 218, 397–411. doi:10.1016/s0044-8486(03)00014-0
- Jatobá, A., da Silva, B.C., da Silva, J.S., Vieira, F. do N., Mouriño, J.L.P., Seiffert, W.Q., Toledo, T.M., 2014. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc systems. *Aquaculture* 432, 365–371. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.05.005
- Jewell, W.J., Madras, J.J., Clarkson, W.W., DeLancey-Pompe, H., Kabrick, R.M., 1983. Wastewater Treatment with Plants in Nutrient Films (No. EPA-600/S2-83-067), US Environmental Protection Agency.
- Kähkönen, M.P., Hopia, a I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., Heinonen, M., 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 47, 3954–3962. doi:10.1021/jf990146l
- Ksouri, R., Megdiche, W., Falleh, H., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Smaoui, A., Abdelly, C., 2008. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biol.* 331, 865–873. doi:10.1016/j.crvi.2008.07.024
- Kudo, N., Fujiyama, H., 2010. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. *Pedosphere* 20, 311–317.
- Lennard, W.A., Leonard, B. V., 2006. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. *Aquac. Int.* 14, 539–550. doi:10.1007/s10499-006-9053-2
- Lu, D., Zhang, M., Wang, S., Cai, J., Zhou, X., Zhu, C., 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. *LWT - Food Sci. Technol.* 43, 519–524. doi:10.1016/j.lwt.2009.09.021

- Mariscal-Lagarda, M.M., Páez-Osuna, F., Esquer-Méndez, J.L., Guerrero-Monroy, I., del Vivar, A.R., Félix-Gastelum, R., 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. *Aquaculture* 366-367, 76–84. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.09.003
- McIntosh, D., Samocha, T.M., Jones, E.R., Lawrence, A.L., Horowitz, S., Horowitz, A., 2001. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. *Aquac. Eng.* 25, 69–82.
- Miranda, F.R., Lima, R.N., Crisóstomo, L. a., Santana, M.G.S., 2008. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquac. Eng.* 39, 1–5. doi:10.1016/j.aquaeng.2008.04.001
- Orellana, J., Waller, U., Wecker, B., 2014. Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquac. Eng.* 58, 20–28. doi:10.1016/j.aquaeng.2013.09.004
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R., Ruiz-Fernández, a. C., Espinoza-Angulo, R., 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-western Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 290–297. doi:10.1016/S0025-326X(96)00133-6
- Quintã, R., Santos, R., Thomas, D.N.N., Le Vay, L., Quinta, R., Santos, R., Thomas, D.N.N., Le Vay, L., 2015. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. *Chemosphere* 120, 414–421. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.08.017
- Rakocy, J.E., 2012. Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture, in: Tidwell, J.H. (Org.), *Aquaculture Production Systems*. Wiley-Blackwell, Oxford, p. 343–386.
- Ray, A.J., Dillon, K.S., Lotz, J.M., 2011. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquac. Eng.* 45, 127–136. doi:10.1016/j.aquaeng.2011.09.001

- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299, 89–98. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.11.021
- Rodrigues, L.R.F., 2002. Técnicas de Cultivo Hidropônico e de Controle Ambiental, no Manejo de Pragas, Doenças e Nutrição Vegetal em Ambiente Protegido, 1<sup>o</sup> ed. Funep, Jaboticabal.
- Rozema, J., Muscolo, A., Flowers, T., 2013. Sustainable cultivation and exploitation of halophyte crops in a salinising world. *Environ. Exp. Bot.* 92, 1–3. doi:10.1016/j.envexpbot.2013.02.001
- Schweitzer, R., Arantes, R., Costódio, P.F.S., do Espírito Santo, C.M., Arana, L.V., Seiffert, W.Q., Andreatta, E.R., 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquac. Eng.* 56, 59–70. doi:10.1016/j.aquaeng.2013.04.006
- Shpigel, M., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Sagi, M., Ventura, Y., Samocha, T., Lee, J.J., 2013. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquaculture* 412–413, 52–63. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.06.038
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144–158.
- Strickland, J.D., Parsons, T.R., 1972. *Practical Handbook of Seawater Analysis*, 1<sup>o</sup> ed. Fish Research Board of Canada, Ottawa.
- Tyson, R. V., Treadwel, D.D., Simonne, E.H., 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Horttechnology* 21, 1–13.
- Ventura, Y., Sagi, M., 2013. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environ. Exp. Bot.* 92, 144–153. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.07.010
- Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Myrzabayeva, M., Alikulov, Z., Khozin-Goldberg, I., Shpigel, M., Samocha, T.M., Sagi, M., 2011. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as

leafy vegetable crops. *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 128, 189–196. doi:10.1016/j.scienta.2011.02.001

Vinatea, L., Gálvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B.L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J.W., 2010. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquac. Eng.* 42, 17–24. doi:10.1016/j.aquaeng.2009.09.001

Webb, J.M., Quinta, R., Papadimitriou, S., Norman, L., Rigby, M., Thomas, D.N., Le Vay, L., 2012. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture. *Water Res.* 46, 5102–5114. doi:10.1016/j.watres.2012.06.034



## Referências bibliográficas da Introdução

AGAWU, E. T. Comparison between *Salicornia* and *Sarcocornia* ecotypes to optimize yield for vegetable production applying highly saline irrigation. **Master of Science in Biotechnology of Drylands. : Ben-Gurion University of the Negev**, p. 139, 2012.

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. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 172–178, 2006.

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

BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v. 226, n. 1-4, p. 101–112, 2003.

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.

BUNTING, S. W.; SHPIGEL, M. Evaluating the economic potential of horizontally integrated land-based marine aquaculture. **Aquaculture**, v. 294, n. 1-2, p. 43–51, 2009.

BURFORD, M. A. et al. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, v. 232, n. 1-4, p. 525–537, 2004.

BUZBY, K. M.; LIN, L.-S. S. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. **Aquacultural Engineering**, v. 63, p. 39–44, 2014.

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. et al. Effect of ultraviolet-B radiation on salt marsh vegetation: Trends of the genus *Salicornia* along the Americas. **Photochemistry and photobiology**, v. 82, n. 4, p. 878–886, 2006.

CRAB, R. et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1-4, p. 1–14, 2007.

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

DE SCHRYVER, P. et al. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, n. 3-4, p. 125–137, 2008.

DÍAZ, F. J.; BENES, S. E.; GRATAN, 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.

DIVER, S. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. **ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. National Center for Appropriate Technology**, p. 28, 2006.

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.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). p. 243, 2014.

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

GLENN, E. P. et al. Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 110–121, 2013.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, v. 246, n. 1-3, p. 147–156, 2009.

- HARGREAVES, J. A. Biofloc Production Systems for Aquaculture. **Southern Regional Aquaculture Center. SRAC. Publication No. 4503**, 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**, 2015.
- JACKSON, C. et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. **Aquaculture**, v. 218, n. 1-4, p. 397–411, 2003.
- 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.
- LU, D. et al. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 519–524, 2010.
- 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.
- 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.
- 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.
- RAKOCY, J. E. Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture. In: TIDWELL, J. H. (Ed.). . **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 343–386.
- 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.

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.

SHPIGEL, M. et al. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. **Aquaculture**, v. 412-413, p. 52–63, 2013.

SINDILARIU, P.-D.; BRINKER, A.; REITER, R. Factors influencing the efficiency of constructed wetlands used for the treatment of intensive trout farm effluent. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 5, p. 711–722, 2009.

TAW, N. Strategies for managing large integrated shrimp farms. **The Global Aquaculture Advocate**, n. October, p. 32–35, 2011.

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.

TROELL, M. et al. Integrated mariculture: asking the right questions. **Aquaculture**, v. 226, n. 1-4, p. 69–90, 2003.

TROELL, M. et al. Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. **Aquaculture**, v. 297, n. 1-4, p. 1–9, 2009.

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.

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.

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.

WEBB, J. M. et al. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture. **Water Research**, v. 46, n. 16, p. 5102–5114, 2012.

**Anexo 1. Estrutura de aquaponia utilizada no experimento, com tanque matriz de 50 m<sup>3</sup> ao fundo.**



**Anexo 2. Visão geral da estufa de experimento, de 252 m<sup>2</sup>, com as oito unidades experimentais.**



**Anexo 3. Detalhe da saída do sobrenadante do decantador (a) e sistema de retorno de lodo (b)**



**Anexo 4. Substrato (a) e estrutura de suporte das plantas (b)**



**Anexo 5. Desenvolvimento de *S. ambigua* no experimento: dia 1 (a), dia 30 (b), dia 54 (c) e dia 72 (d)**

