

LUSIA APARECIDA DE SOUZA

**A UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA CARCINICULTURA EM SISTEMAS
DE BIOFLOCOS (BIOFLOC TECHNOLOGY) PARA PRODUÇÃO DE
HORTALIÇAS EM AQUAPONIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais



Sorocaba
2022

LUSIA APARECIDA DE SOUZA

**A UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA CARCINICULTURA EM SISTEMAS
DE BIOFLOCOS (BIOFLOC TECHNOLOGY) PARA PRODUÇÃO DE
HORTALIÇAS EM AQUAPONIA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero Guandique

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências ambientais 

Sorocaba
2022

S729u Souza, Lusia Aparecida de
A utilização do efluente da carcinicultura em sistemas de bioflocos
(biofloc technology) para produção de hortaliças em aquaponia /
Lusia Aparecida de Souza. -- Sorocaba, 2022 40 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Manuel Enrique Gamero Guandique

1. Biofloc. 2. Aquicultura. 3. Hortaliças. 4. Aquaponia. 5.
Reuso. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Tratamento de efluentes de sistemas Biofloc Technology (BFT) utilizando a aquaponia

AUTORA: LUSIA APARECIDA DE SOUZA

ORIENTADOR: MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE (Participação Virtual)
Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Prof. Dr. ANDRÉ HENRIQUE ROSA (Participação Virtual)
Departamento Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia Campus de Sorocaba Unesp

Profª. Drª. MÔNICA HELENA MARCON TEIXEIRA ASSUMPÇÃO (Participação Virtual)
Centro de Ciências da Natureza / Universidade Federal de São Carlos - Campus Lagoa do Sino

Sorocaba, 09 de março de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Manuel Enrique Guanero Guandique pela oportunidade me dada e pela confiança e paciência, por acreditar em mim e sempre me encorajar a seguir adiante.

Aos meus colegas de turma da pós, principalmente ao meu querido amigo que o programa me trouxe, Sandro Aparecido Magro. Gratidão, amigo!

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, da Universidade Estadual Paulista - UNESP/Sorocaba pela oportunidade de cursar pós-graduação.

Aos professores integrantes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo aprendizado adquirido durante as disciplinas cursadas.

Aos meninos do laboratório Pedro Bartholo e Victor Oliveira que me auxiliaram na análise dos dados e coletas. Gratidão!

Agradeço aos funcionários da UNESP de Sorocaba por proporcionar condições para a realização deste trabalho.

À empresa Bass Piscicultura, pelo apoio e por ceder o espaço físico para a realização do mesmo, em especial à Msc Fabiana Grechi pelos ensinamentos e trocas diárias. Gratidão!

À minha Vida! Obrigada pelo amor diário e pelo cuidado. Te amo!

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

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

*E o futuro é uma astronave que tentamos
pilotar, Não tem tempo, nem piedade, nem tem hora de
chegar.*

*Sem pedir licença muda a nossa vida,
depois convida a rir ou
chorar.*

*Nessa estrada não nos cabe conhecer ou ver o que
virá. O fim dela ninguém sabe bem ao certo onde vai
dar.*

*Vamos todos numa linda
passarela De uma aquarela que um dia, enfim,
descolorirá.*

(Toquinho e Vinícius de Moraes)

(In memoriam) Maria Aparecida de Almeida Souza, minha mãe, que Deus lhe traga
o conforto que a Terra não lhe deu, fique em paz.

RESUMO: Com o aumento do consumo de pescado e declínio dos estoques pesqueiros, a aquicultura foi incentivada em especial a carcinicultura, a partir dos anos 2000, chegando atualmente à marca dos 55% da produção mundial de crustáceos. Sob a ótica da sustentabilidade, sendo a água recurso natural essencial à vida, entende-se que seu adequado. Reuso trata-se de ação em benefício da comunidade e do ambiente. Esse estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da planta halófito *Sandoricornia ambigua* para tratamento do efluente decorrente da produção de camarões *Litopenaeus vannamei* em sistemas de bioflocos, ao longo de dois ciclos de produção, totalizando 270 dias de observação, para redução dos índices de nitrogênio na água do sistema de cultivo, aumentando sua utilização e evitando a contaminação do solo e lençol freático, refletindo em melhor custo benefício da produção. Durante os experimentos, a água descartada dos clarificadores foi depositada em reservatório, com bancada de sistema Filme Nutriente (NFT – Nutrient Film Technique) hidropônica dispostos longitudinalmente sobre este. As raízes das plantas ficaram submersas no filme d'água que passava através dos canais de irrigação em contato as raízes das plantas. Durante todo o processo as variáveis ambientais e físico-químicas, assim como da água, foram tomadas diariamente. Verificou-se que houve redução nos níveis de amônia e desenvolvimento satisfatório da planta, representando produção vegetal adequada, o que permite concluir que a reutilização do efluente em aquaponia é eficiente, tanto do ponto de vista de tratamento da água, quanto do produtivo.

Palavras Chaves – Reuso, efluente, água salinizada, planta halófito

ABSTRACT: With the increase in fish consumption and the decline in fish stocks, an aquaculture was encouraged, especially for shrimp farming, from the 2000s onwards, currently reaching the mark of 55% of the world production of crustaceans. From the perspective of sustainability, since water is a natural resource essential to life, it is understood that its reuse is adequate in for the community to benefit of the land the environment. This study aimed to evaluate the efficiency of the *Sacocornia ambigua* halophyte plant for the treatment of effluent from the production of *Litopenaeus vannamei* shrimp in biofloc systems, over two production cycles, totaling 270 days of observation, To reduce the nitrogen level in the water from the cultivation system, increasing its use and avoiding contamination of the soil and cultivation benches, resulting in better cost-effectiveness in production. During the experiments, the water discharged from the clarifiers was deposited in a reservoir, with a hydroponic Nutrient Film System (NFT - Nutrient Film Technique) bench arranged longitudinally on it. With the roots of established plants submerged in the film of water that passed through the irrigation pipe. Throughout the process, as variables defined and physical, as well as water, were considered daily, it was found that there was a reduction in ammonia levels and satisfactory plant development, representing adequate plant production, which allows us to conclude that the reuse of effluent in aquaponics is efficient, both from the point of view of water treatment and production.

Key Words - reuse, effluent, saline water, halophyte plant

LISTA DE SIGLAS

A.C. – Antes de Cristo

BFT- Biofloc Technology

B – Boro

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CaCo₃ – Carbonato de Cálcio

Ca – Cálcio

Cl – Cloro

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

F – Flúor

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.

K - Potássio

LCM – Laboratório de Camarões Marinhos

Mg – Magnésio

NAT – Nitrogênio Amoniacal Total

NFT- Nutrient Film Technique

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

NO₃ – Nitrato

OMS – Organização Mundial da Saúde.

OPAS- Organização Panamericana de Saúde

pH – Potencial Hidrogeniônico

PL10 – Pós Larva com 10 dias

PVC - Polyvinyl Chloride

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Desenho esquemático da estrutura montada para o experimento..... 28
- Figura 2.** Desenvolvimento das Plantas Halófitas 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias parâmetros 1ª safra	31
Tabela 2. Médias parâmetros 2ª safra	32

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1.	Objetivo Geral.....	19
2.2.	Objetivos Específicos.....	19
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1.	Reuso	20
3.2.	Aquicultura.....	22
3.3.	Carcinicultura.....	23
3.4.	Sistema de Bioflocos – BFT “ Biofloc Technology”	23
3.5.	Aquaponia.....	24
3.6.	Reuso em Aquicultura.....	25
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1.	Local de Estudo.....	25
4.2.	Material Biológico.....	25
4.2.1.	Camarões <i>L. Vannamei</i>	25
4.2.2.	Plantas.....	26
4.3.	Delineamento Experimental.....	26
4.4.	Variáveis Físico-Químicas da água.....	29
4.5.	Desempenho Zootécnico dos Camarões.....	29
4.6.	Índice de Produção das Plantas	29
4.7.	Análise Estatística.....	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30

5.1.	Sistema de Cultivo dos Camarões.....	30
5.2.	Reservatório Experimento com Plantas.....	32
5.3.	Desenvolvimento das Plantas Halófitas.....	34
5.4.	Desenvolvimento das Plantas Comerciais.....	35
6.	CONCLUSÃO.....	36
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

De todos os recursos naturais importantes à sustentabilidade, a água requer atenção urgente, pois é através dela que toda vida nasce e se mantém, sendo encontradas referências de relações das sociedades humanas com este recurso natural renovável, em diferentes épocas, povos e culturas, como elemento vital e fundamental ao desenvolvimento (TELLES, 2012). Assim, um dos maiores desafios da humanidade, em nosso século, seria garantir o uso sustentável dos recursos hídricos.

De acordo com o posicionamento crítico adotado por Satterthwaite (2004), entende-se sustentabilidade como o princípio estruturador de um processo de desenvolvimento centrado nas pessoas e, tornando-se assim um fator mobilizador da sociedade humana para readequação dos padrões de comportamento e os valores dominantes:

(...) a resposta às necessidades humanas nas cidades com o mínimo ou nenhuma transferência dos custos da produção, consumo ou lixo para outras pessoas ou ecossistemas, hoje e no futuro (SATTERTHWAITE, 2004).

Sob a ótica deste conceito de sustentabilidade entende-se que as sociedades humanas devem utilizar os recursos naturais de forma a não alterar as condições de equilíbrio do planeta como um todo, o qual depende do equilíbrio climático e da manutenção da biodiversidade. O desenvolvimento estaria então limitado à disponibilidade da água, tanto em relação ao fator quantidade quanto à sua qualidade. Nesse sentido, a falta de água, seja em quantidade ou qualidade, é um dos principais problemas atuais (TELLES, 2012).

Além da poluição dos corpos d'água, as altas densidades populacionais tornaram prioritário o uso das águas superficiais para abastecimento público e geração de energia elétrica, tornando mais escassa a água para as atividades agropecuárias localizadas em áreas periurbanas. O grande desafio está em produzir de modo sustentável, utilizando o mínimo possível de recursos naturais não renováveis e, otimizando o funcionamento de cada sistema de produção. Devem ser direcionados esforços para que simultaneamente seja realizado o tratamento dos efluentes, sejam

eles domésticos ou industriais e, o adequado reuso em benefício da própria comunidade e do ambiente (GIANNETTI *et al.*, 2006).

A aquicultura é uma atividade zootécnica que engloba técnicas de produção de organismos aquáticos, criados sob diferentes condições, localidades geográficas, formas de cultivo e destino final da espécie explorada. Em função da variação das técnicas de cultivo e manejo, de acordo com grau e a intensidade dessas, é que as interações com o meio ambiente e a exploração dos recursos naturais terão consequências ambientais benéficas, neutras ou negativas, representando diretamente o quanto o manejo ambiental é efetivo e socioeconomicamente sustentável (HUNDLEY, 2013 *apud* LEWIS ET AL., 1978; CHOPIN E SAWHENEY, 2009).

O crescimento exponencial do consumo de pescados e proteínas oriundas dos organismos aquáticos nas últimas três décadas, somada à poluição dos ambientes aquáticos, tem levado à redução dos estoques pesqueiros, tornando a aquicultura a principal alternativa para suprir a demanda do mercado consumidor, resultando na busca de novas tecnologias e meios de produção sustentáveis e economicamente viáveis (FAO, 2018).

Num primeiro momento, o aumento da produção aquícola, além de gerar lucro e renda para toda a cadeia, também traz impactos ambientais negativos pelo descarte de efluentes com alta concentração de compostos orgânicos, principalmente os compostos nitrogenados e o fósforo, resultando na eutrofização dos ambientes naturais onde é feito o deságue dos sistemas de criação. Na carcinicultura comercial, na qual é feita a criação em cativeiro de camarões marinhos da espécie *Litopenaeus vannamei*, principalmente no litoral do nordeste brasileiro, com a utilização no cultivo de rações comerciais com teor de proteína bruta em torno de 45%, apenas cerca de 20% do nitrogênio presente é recuperado na biomassa dos animais, sendo o restante excretado e acumulado na água, o que torna necessário um sistema de cultivo que permita a metabolização desse nitrogênio antes da liberação no meio ambiente (PINHEIRO, 2015).

Visando a expansão da aquicultura de forma sustentável, uma busca diária por diferentes tecnologias que permitam o aumento da produção, redução dos custos e mitigação dos efeitos danosos é prioridade. Nesse contexto, destaca-se o cultivo em bioflocos (*Biofloc Technology* – BFT), pensada para a maximização da

produção e a utilização dos recursos de forma eficiente, considerada biossegura quando comparada a outros meios de cultivo, em função da minimização da troca d'água com o ambiente (SCOPEL *et al.*, 2011 *apud* AVNIMELECH, 1999).

Conhecido como um dos principais sistemas de cultivo sem renovação de água, com baixo volume de águas residuais, os bioflocos constituem-se por algas, bactérias, protozoários e matéria orgânica particulada, como restos de ração, fezes, partes e restos de animais mortos agregados, dando origem ao nome *bioflocos*. Um dos principais objetivos desse sistema, além da não renovação de água, é a remoção de nutrientes adicionados e não utilizados pelos animais, seja via trato ou excreção como, por exemplo, o nitrogênio que é excretado através de amônia pelos organismos aquáticos, tornando-se assim uma forma de retroalimentação do sistema – a produção de flocos é estimulada com a adição de carbono, para também para ser usada como suplemento alimentar adicional para as espécies (DE SCHERYER *et al.*, 2008; HARGREAVES, 2013).

Durante o processo de produção em sistemas fechados, como BFT, a rápida eutrofização por nutrientes e o excesso de sólidos suspensos tornam-se um problema para os cultivos. Diante disso, a clarificação passa a ser uma alternativa para o controle de matéria orgânica particulada em suspensão, podendo refletir na melhora dos parâmetros de qualidade d'água do cultivo (GAONA, 2011).

Diante desse cenário, algumas alternativas vêm sendo utilizadas para tratar efluentes, em sua maioria, oriundos de baixa salinidade. Temos o exemplo dos *wetlands*, construídos com macrófitas aquáticas flutuantes (SAND ILARIU; BRINKER; REITER, 2009) e a fertirrigação, que utiliza esses efluentes na irrigação de frutas e vegetais, como por exemplo, o feijão-vigna (SANTOS, 2009). Porém, o mesmo não ocorre com efluentes com taxas elevadas de salinidade que, além de se caracterizar como um grave problema ambiental, sua elevada concentração de sais no solo causa perdas consideráveis para a agricultura mundial, seja por causar perdas em cultivos já estabelecidos, seja por inviabilizar a exploração de novas áreas agricultáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2011 *apud* FLOWERS, 2004; MUNNS *et al.*, 2006).

De acordo com Wang (2003), para manter as taxas de crescimento da atividade em níveis sustentáveis, deve-se buscar meios para diminuir a quantidade de

água demandada e efluentes produzidos. Para o cultivo de *Litopenaeus vannamei* a água é salinizada artificialmente, técnica que é muito utilizada em cultivos interiores, afastados do mar. O custo dessa salinização representa um valor significativo durante o processo de produção, cerca de R\$30,00/m³. A racionalização do uso da água torna-se, portanto, uma ação estratégica e indispensável, principal motivo pelo qual, sistemas de recirculação que integram processos de tratamento de efluentes têm ganhado interesse em nível mundial (LIN *et al.*, 2003).

Ao mesmo tempo, os efluentes dos viveiros de camarão, ricos em nutrientes e matéria orgânica, podem contribuir para mudanças no estado trófico dos corpos hídricos receptores (CASTELLO *et al.*, 2008; ALENCAR *et al.*, 2010), precisando ser adequadamente tratados antes da descarga final. Sandu *et al.* (2002) afirmam que, se fossem introduzidos métodos de reciclagem e reuso nas atividades produtivas, a descarga final poderia ser reduzida em até 90%, o que representaria uma economia considerável de água e custos.

Uma das alternativas para os efluentes da carcinicultura, já estudada, é o cultivo de vegetais através do sistema de aquaponia, o que aumenta a remoção de nutrientes, melhorando a qualidade de água antes de seu retorno aos viveiros (CASTELLANI *et al.*, 2009). Ela surge como uma alternativa sustentável e inovadora para o tratamento desses sólidos suspensos, evitando o descarte do efluente e, conseqüentemente, uma diminuição nos custos de salinização d'água.

A aquaponia é a aquicultura combinada com a hidroponia¹ em um sistema multitrófico único, que recircula levando os nutrientes não utilizados pelos organismos aquáticos, ou encontrados no sistema, para as plantas para que, com a absorção desses antes do retorno ao sistema de cultivo, promova-se o seu crescimento e, propiciando condições estáveis e ideais na água para o cultivo dos organismos aquáticos (TYSON, TREADWELL & SIMONNE, 2011).

¹ Hidroponia: produção de organismos vegetais utilizando um conjunto de técnicas de cultivo de plantas sem uso do solo, onde nutrientes minerais essenciais são fornecidos através de uma solução nutritiva balanceada, atendendo às necessidades nutricionais (NETO & BARRETO, 2012).

Alguns autores obtiveram êxito em seus trabalhos na produção de vegetais irrigados com efluentes da carcinicultura e de sistemas de BFT's, tornando-o ainda mais sustentável (PINHEIRO, 2015 *apud* DUFAULT E KORKMAZ, 2000; DUFAULT *et al.*, 2001; LEITÃO *et al.*; 2011; MARISCAL-LAGARDA *et al.*; 2012; MIRANDA *et al.*; 2008).

Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a utilização do efluente oriundo dos clarificadores do sistema de bioflocos da produção de camarão *Litopenaeus vannamei*, em águas salinizadas artificialmente, para a produção sustentável de vegetais utilizando o sistema aquapônico, de modo ambientalmente correto e economicamente viável, com a redução dos custos de produção e aumento da rentabilidade.

A maioria das produções utilizando sistemas aquapônicos comerciais, que envolve o cultivo de vegetais tidos como comerciais, utiliza espécies como alface, espinafre, tomate, pepino e pimentão que, pela literatura, não são tão tolerantes a altas concentrações de salinidade (PINHEIRO, 2015 *apud* GRABER; JUNGE, 2009). Para tornar possível a utilização da água salinizada artificialmente, alguns autores realizaram experimentos bem-sucedidos com plantas halófitas de uso comercial que apresentam bastante tolerância à salinidade. As halófitas crescem ao longo de manguezais e marismas (ROZEMA; SCHAT, 2013; SHPIGEL *et al.*, 2013; WEBB *et al.*, 2012).

As plantas do gênero *Sarcocornia* (família *Amaranthaceae*) são caracterizadas pela morfologia simples, uma vez que produzem somente brotos suculentos, aparentemente sem folhas, com ciclo de vida perene e com flores alinhadas horizontalmente nos brotos (SAGI, 2013; VENTURA *et al.*, 2011). No Brasil, há ocorrência de espécies popularmente conhecidas como "Aspargo do Mar", como a *Sarcocornia ambigua*, comercializados na Europa como um vegetal fresco e desfolhado que se assemelha ao tradicional aspargo, apreciado na alta gastronomia pela capacidade de saborizar pratos pelo seu sabor salgado, e principalmente por seu elevado valor nutricional (VENTURA *et al.*, 2011).

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 à da água do mar, além de apresentarem alta produtividade e capacidade de absorção de nutrientes (BUHMANN *et al.*, 2015; GLENN *et al.*, 2013).

Desta forma, visando contribuir com as questões socioambientais o presente trabalho avaliou a utilização do efluente da água salinizada artificialmente, oriunda dos clarificadores do sistema de produção de camarões com bioflocos, em aquaponia para a produção de *Sarcocornia ambigua*, de modo a não contaminar o ambiente, considerando que o descarte da água salinizada pode acarretar na diminuição do potencial nutricional dos solos e em alterações de propriedades físico-químicas da água do lençol freático, devido à liberação de precipitados de ferro e susceptibilidade a riscos ecológicos, que ocorrem devido às concentrações de cobre, cádmio e manganês, ou ainda a diminuição do lançamento de efluentes nos cursos d'água, que resultariam na eutrofização destes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Utilização do efluente oriundo da produção de camarões marinhos em sistema de bioflocos, em águas salinizadas artificialmente, para a produção sustentável de organismos vegetais em aquaponia de modo ambientalmente correto e economicamente viável.

2.2. Objetivos Específicos

- Testar a eficiência da planta halófito *Sarcocornia ambigua*, nos sistemas NFT (de calhas), como possível redutora de compostos nitrogenados no ambiente aquático;
- Verificar o uso de plantas comerciais quanto à tolerância em altas salinidades;
- Determinar os componentes do efluente descartado ao longo da produção;
- Reutilizar o efluente após a produção dos vegetais, a fim de evitar o desperdício da água salinizada artificialmente.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Reuso

A taxa de contaminação dos recursos hídricos é muito mais elevada na América Latina que em outras regiões do mundo: fazendo um cálculo *per capita*, a América do Sul contamina quase 11 vezes mais a água doce que a Europa e estima-se que menos de 10% dos municípios da América Latina e Caribe tratam adequadamente as águas residuárias antes de dispô-las aos cursos naturais de água (OPAS, 2007).

No Brasil, o controle dos recursos hídricos e do lançamento de efluentes, resíduos orgânicos ou inorgânicos de quaisquer atividades agrícolas, urbanas ou industriais, descartados no ambiente, tratados ou não, teve início na década de 70, sendo tratada mais especificamente em 1986, quando foi editada a Resolução CONAMA nº 20/1986, que tratava da classificação e enquadramento dos corpos d'água no Brasil. Em 2005, houve alteração desta Resolução com a edição da Resolução CONAMA nº 357/2005, que também foi alterada em 2008 pela Resolução CONAMA nº 397. Recentemente, o Conselho Nacional de Meio Ambiente publicou a Resolução nº. 430, em 13 de maio de 2011, que trata das condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos d'água receptores, determinando que efluentes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados diretamente nos corpos receptores após tratamento adequado e seguindo as devidas orientações legais.

A Resolução nº 430/2011 estabelece ainda que os responsáveis por fontes poluidoras devem realizar o automonitoramento periódico dos efluentes lançados, levando em consideração critérios e procedimentos de automonitoramento que poderão ser estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, devem ser definidos pelo próprio responsável considerando as normas técnicas específicas sobre o tema.

Uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados (HESPANHOL, 2008).

A Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) recomenda para o tratamento de efluentes - cujo principal propósito é a redução da elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sem a necessidade de diluir as águas residuárias - a utilização do sistema de lagoas de estabilização em série, em função de sua grande eficiência para remoção de patógenos, principalmente nos casos de esgotos domésticos. É o método mais adequado aos países em desenvolvimento de regiões tropicais e subtropicais, pois há disponibilidade de áreas próximas às cidades e a ação natural do calor e da luz solar aceleram o crescimento de microorganismos, favorecendo a degradação biológica da matéria orgânica. Neste sistema, o qual tem sido o mais utilizado em cidades de pequeno e médio porte por todo o mundo, busca-se remover os sólidos presentes e, o processo de transformação da matéria orgânica libera nutrientes e gera uma grande biomassa de algas, indicando assim uma porta para entrada de sistemas de Reuso.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera o Reuso de águas residuárias uma forma de promover o saneamento, já que agrega valor ao tratamento de esgotos, através do potencial aproveitamento dos subprodutos do processo – nutrientes, lodo e biomassa de algas - para agricultura e aquicultura com tecnologia simples e sem necessidades de equipamentos e energia convencional (NUVOLARI, 2011; FELIZATTO, 2000; VON SPERLING, 1995; OPAS, 1990; OMS, 1989).

O Reuso pode ser entendido como uma forma de reaproveitamento de efluentes, após algum tipo de tratamento, sendo geralmente um prolongamento da funcionalidade da água já utilizada (COSTA, 2012). No Brasil, a aceitação ao Reuso da água ainda é pequena, talvez devido à falta de divulgação ou de incentivo à aplicação de suas tecnologias, apesar dos programas de racionalização do uso de recursos hídricos já contemplarem o país como ferramenta de otimização do uso (MOURA, 2020).

Os benefícios resultantes do Reuso do efluente tratado, ao contrário de disposição ou descarga, incluem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (COSTA, 2012) estabelecidos pelo órgão ambiental competente ou, na sua ausência, devem ser definidos pelo próprio responsável, considerando as normas técnicas específicas sobre o tema.

3.2. Aquicultura

A aquicultura é uma atividade zootécnica, multidisciplinar, que pode ser definida como a produção racional de organismos aquáticos, incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas cultivados em cativeiro, com controle das etapas de cultivo, aplicação de princípios científicos e emprego de técnicas adequadas de manejo (ELER, 2007).

A média de consumo global de pescado per capita, que em 1961 era de 9 kg/ano por habitante, atingiu a média de 20,5 kg/ano em 2018, sendo que deste consumo cerca de 65% são de pescados provenientes da aquicultura. A produção da aquicultura brasileira atualmente gira em torno de 581 mil toneladas/ano, representando crescimento na produção pesqueira brasileira de 24,2% de 2010 até 2016, havendo ainda a estimativa que esse percentual chegue a 84% até 2030 (FAO, 2020).

Esse crescimento da aquicultura apresenta-se contrário à balança do declínio da captura de pescado, resultante do aumento da pesca extrativista e predatória, de modo intenso e desordenado, que causou uma forte redução dos estoques de pescado no mundo, ao ponto de ultrapassar a sua capacidade de reprodução, além de tornar os esforços para a captura de peixes cada vez mais onerosos (SEAG, 2008; FAO, 2020).

Considerando a disponibilidade de água no Brasil e a informação da FAO (2007) de que um hectare de criação de peixes produz mais alimento do que a criação de qualquer outra espécie de interesse zootécnico, a aquicultura apresenta grande potencial para se desenvolver. Porém, apesar dos benefícios sociais e econômicos, tais como a produção de alimento com menor custo e a geração de empregos, deve-se considerar que todas as atividades produtivas são impactantes ao ambiente (TUNDISI, 2008).

Para a aquicultura em geral, é fundamental o estabelecimento de políticas através das quais seja otimizado o setor aquícola para o bem-estar econômico e socioambiental, incluindo a segurança alimentar, a inclusão social e a conservação ambiental, diretrizes fundamentais nos processos de gestão ambiental (CYRINO, 2010).

3.3. Carcinicultura

A expansão da carcinicultura tem demonstrado a sua importância dentro da aquicultura. O planejamento no desenvolvimento da carcinicultura no Brasil começou a ocorrer a partir dos anos 2000, quando a produção de camarão passou a ser considerada altamente lucrativa, principalmente na região nordeste (AVNIMELECH, 2009), evoluindo rapidamente e chegando a representar, em 2010, 55% da produção mundial de crustáceos, tendo a espécie *Litopenaeus vannamei* superado a marca de 2,5 milhões de toneladas (FAO, 2012).

A espécie *Litopenaeus vannamei* (Boone) (Crustacea, Decapoda, Penaeidae), popularmente conhecido como Camarão Branco do Pacífico, é a única espécie cultivada nas três Américas e na Ásia e tem uma boa aceitação, tanto no mercado consumidor, quanto para o cultivo, em consequência de características como precocidade e rápido crescimento, eficiência na conversão alimentar, tolerância às variações ambientais e altas taxas de sobrevivência em condições costeiras ou interiores das zonas tropicais e semitropicais, ressaltando-se ainda sua alta capacidade de adaptação às baixas salinidades (OSTRENSKY, 2002; KRUMMENAUER, 2014).

Embora o cultivo de camarão marinho tenha uma história relativamente recente em relação aos demais segmentos da aquicultura, hoje a carcinicultura representa a força motriz para o desenvolvimento de tecnologias e serviços para o setor aquícola mundial (ROCHA, 2013).

3.4. Sistema de Bioflocos BFT – “*Biofloc Technology*”

O Sistema de Bioflocos – BFT, consiste na transformação do nitrogênio presente no ambiente aquático de cultivo, oriundo da alimentação não consumida e de excretas, através da adição de fontes de carbono orgânico (facilmente degradáveis, como melão, dextrose e até alguns de menor solubilidade, como dos farelos vegetais) para formação de agregados microbianos, constituídos de bactérias, microalgas, protozoários, rotíferos, fezes, exoesqueletos, restos de organismos mortos, entre outros, disponíveis como proteína microbiana, altamente nutritiva como alimento suplementar, melhorando a conversão alimentar (WASIELESKY *et al.*, 2006;

CRAB *et al.*, 2012).

Dessa maneira, a tecnologia BFT permite a intensificação da densidade de estocagem, bem como o aumento da produtividade com melhor relação custo- benefício, uma vez que são menores os esforços para o tratamento da água, sendo o residual desse processo o alimento disponível para os animais, caracterizando a carcinicultura no sistema de bioflocos como um ambiente de cultivo altamente oxigenado, povoado com altas densidades de camarões, fertilizado com fontes ricas em carbono, promovendo o surgimento da biota bacteriana predominantemente heterotrófica, que realizará o processo de nitrificação (SAMOCHA *et al.*, 2007).

As bactérias heterotróficas utilizam a amônia como fonte de nitrogênio, sendo esta decomposta aerobicamente, o que justifica a aeração suplementar para suprir o aporte de oxigênio dissolvido no ambiente de cultivo. A absorção do nitrogênio inorgânico, promovida pelo crescimento bacteriano heterotrófico, promove a redução nas concentrações de amônia mais rapidamente do que o processo de nitrificação. As bactérias heterotróficas têm a taxa de crescimento e produção da biomassa bacteriana 10 vezes superior às das bactérias nitrificantes, que em decorrência de seu lento crescimento lento, reflete no acúmulo de altas concentrações de nitrito no ambiente aquático (HARGREAVES, 2006).

Além do ganho econômico, há que se avaliar ainda o ganho no âmbito ambiental, uma vez que se trata de sistema de cultivo com mínima ou sem renovação de água, reduzindo a liberação de efluentes e minimizando o impacto ao meio ambiente. De igual modo, eleva a biossegurança do cultivo, através da redução das vias de introdução e disseminação de enfermidades, permitindo ainda realização de sucessivos ciclos de produção de camarões sem a necessidade de renovação da água (MCINTOSH *et al.*, 2000).

3.5. Aquaponia

A escassez de água, associada à deterioração dos ambientes aquáticos, assim como à preocupação com sua conservação, torna o Reuso de efluentes, especificamente em piscicultura, um importante objeto de estudos, principalmente os

que visem avaliar sua qualidade para a produção de alimentos, como é o caso da Aquicultura.

O uso de excretas na piscicultura constitui uma prática centenária, se não milenar, principalmente na Ásia (China, Cingapura e Índia, Indonésia, Malásia, Tailândia e Vietnã). A utilização de subprodutos oriundos da agricultura e das criações de diversas espécies terrestres como fonte de matéria orgânica na alimentação de peixes, ou como fertilizante na água, foi a origem da piscicultura na China em 475 a.C. (PROENÇA & BITTENCOURT, 1994).

3.6. Reuso em Aquicultura

A viabilidade de reuso do esgoto tratado em aquicultura é relatada por diversos autores, como Bartone *et al.* (1990) e El-Golary *et al.* (1995), que afirmaram que além do sucesso na utilização, houve uma melhoria da qualidade do efluente após o Reuso.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local de Estudo

O experimento foi conduzido na Piscicultura Bass, localizada na cidade de Boituva, SP – Brasil. O local já trabalhava com a produção de organismos aquáticos em sistemas de BFT, inclusive com a espécie *Litopenaues vannamei*. Sendo realizado em duas fases e épocas distintas, a primeira de setembro a dezembro, chamada de “1ª safra”, e a segunda de dezembro a abril, chamada “2ª safra”, totalizando 270 dias de observação.

4.2. Material Biológico

4.2.1. Camarões *L. vannamei*

Foram adquiridas pós-larvas de *Litopenaues vannamei* de laboratório comercial (Aquatec LTDA, Caguarema, RN, Brasil), de linhagem livre de patógenos específicos (*SpeedLine* SPF), no estágio PL10, que representa sua idade cronológica após completar o período de metamorfose. Após transporte aéreo em sacos

pressurizados com oxigênio, as larvas chegaram na piscicultura para a 1ª safra em 06/09/2018, apresentando peso e comprimento médio total inicial de $0,007 \pm 0,001$ g e $10,00 \pm 0,05$ mm, respectivamente.

4.2.2. Plantas

As plantas halófitas *Sacocornia ambigua*, (Michx.) Alonso & Crespo, utilizadas durante o experimento eram oriundas do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

As plantas matrizes oriundas do Banco do LCM – UFSC foram cortadas em estacas de 10 centímetros de comprimento, sem folhas e com parte inferior em bisel, para produção de mudas através de propagação vegetativa (estaquia) em sistema aquapônico de Filme Nutriente -NFT. O método utilizado foi o mesmo empregado por Pinheiro (2015), em seu experimento realizado no LCM da UFSC. Após o período de enraizamento, 13 mudas foram levadas para as calhas da bancada aquapônica.

Já as mudas de cunho comercial, foram hortaliças com cerca de 7 dias, adquiridas em casa de vegetação de nome Chácara Rodrigues, localizada na cidade de Porto Feliz, SP. Foram 04 mudas de alecrim (*Rosmarinus officinalis*, L.), 04 mudas de alface (*Lactuca sativa*, L.), da variedade crespa, 04 mudas de espinafre (*Spinacia oleracea*, L.) e 03 de manjericão (*Ocimum basilicum*, L.).

4.3. Delineamento Experimental

A unidade experimental compreende: o sistema de cultivo dos camarões, clarificadores e reservatório de efluente e, bancada com as plantas, apresentados detalhadamente a seguir.

O sistema de cultivo de camarões em bioflocos teve início após o recebimento e aclimação das larvas para povoamento em 05 tanques retangulares, feitos em lona, através do processo de calandragem, composta por tecido de poliéster de alta tenacidade e revestida em ambas as faces com camadas de PVC, com espessura nominal de 0,58mm e gramatura de 680 g/m², com dimensões 2,5m x 5,0m e altura de 1,20m, com volume útil de 12,5 m³ de água cada um (berçário). E outro tanque retangular de 3,5m x 10,0m e altura 1,10 m com volume útil de 35 m³ (tanque engorda) em sistema intensivo com bioflocos microbianos, com aeração

forçada por compressor radial, isento de óleo, com potência de 3cv e, vazão de 2400 litros de ar por minuto, compressão de 1400mmCa, e sistema de recirculação com retorno do tipo venturi e água salinizada artificialmente a 15 mg L⁻¹, na densidade de 600 animais por m³, com prática do sistema de manejo já adotado na Piscicultura.

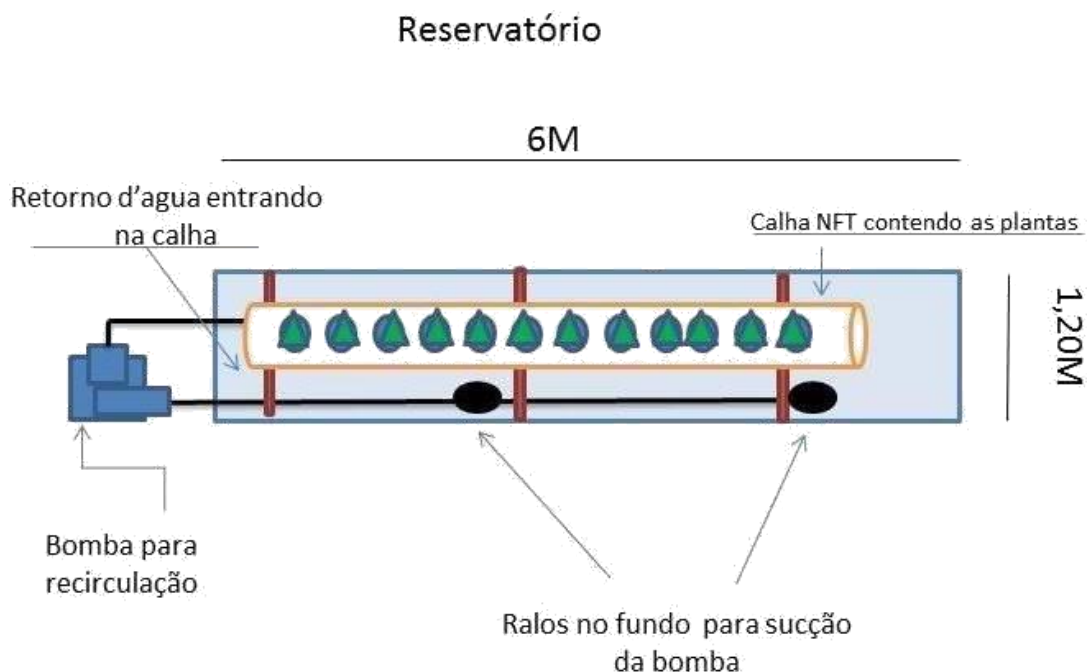
Os animais receberam alimentação, diariamente, quatro vezes ao dia, às 07:00h, 11:00h, 17:00h e 21:00h. Foi utilizada ração comercial peletizada com teor de proteína bruta de 38% (*Presence Density*, Rio Grande do Norte, Brasil). A quantidade de ração fornecida foi calculada semanalmente com base no ganho de peso, sobrevivência e conversão alimentar esperados (RAY *et al.*, 2010). Ao longo da produção, foi adicionado melão de cana líquido, com concentração de 30% de carbono total, para correção de carbono durante a manutenção do biofilme, na relação carbono nitrogênio 9:1 para a manutenção do sistema.

O sistema possui um clarificador, estrutura para decantação do excesso de flocos, por onde a água passa quando o nível dos flocos ultrapassam 10ppm/l.

O cultivo de camarões iniciou-se um mês antes do início do experimento objeto deste estudo, representando a primeira parte da unidade experimental.

A segunda parte da unidade experimental consiste em um reservatório com volume de 4000 litros, composto por tanque em lona de policloreto de vinila (PVC flexível), com 1,20m de largura por 6,0 m de comprimento e 0,6m de altura, para armazenamento do efluente da criação de camarões e, sobre este, uma bancada de sistema Filme Nutriente NFT hidropônica, disposta longitudinalmente sobre o tanque (Figura 1), no qual as raízes das plantas ficaram submersas em filme de água, passando através dos canais de irrigação, bombeada por uma motobomba periférica de 1/2cv (Eletroplas Modelo ECH 50L, Navegantes, SC, Brasil) com rotor em inox e carcaça em ABS, selecionada para tal experimento devido à sua maior “resistência” contra corrosão oriunda da salinidade, acionada por timer analógico de tomada, com ciclo de 15' X 30', ou seja, permanecendo ligada e bombeando por 15 minutos, ficando desligada por 30 minutos.

Figura 1: Desenho esquemático da estrutura montada para o experimentos



A água do reservatório era bombeada durante o ciclo, numa vazão máxima de 14,4 m³/h considerando a pressão de 1000 mm de coluna d'água. A motobomba tinha a sucção ligada a 2 drenos de fundo de 75mm de diâmetro, interligados por uma rede hidráulica de 75mm e o recalque também de 75mm, ligado diretamente à calha da aquaponia com as mudas. No recalque, dividido na entrada das calhas NFT, existia um registro controlando a vazão, para regulagem do fluxo. Após irrigar as plantas, a água era recolhida por gravidade em uma calha localizada ao final da bancada, e retornava ao tanque reservatório, também por gravidade, para posterior recirculação.

Cada canal de irrigação era formado por 01 (um) tubo de PVC de 50mm de diâmetro e 5,0 m de comprimento, disposto sobre o tanque com auxílio de barras de sustentação em fibra de vidro, com uma declividade de 4% para uma das extremidades do tanque, sendo a função desse declive direcionar o fluxo da água. Cada canaleta possui 40 perfurações de 75mm de diâmetro cada, em uma das paredes para colocação das plantas. As mudas foram colocadas com espaçamento de um furo, intercalando uma planta da outra.

Em cada uma das fases do experimento, um dia antes da colocação das mudas, a água proveniente dos clarificadores do sistema de cultivo dos camarões foi depositada no reservatório.

Nas unidades experimentais aquapônicas foram avaliados 2 (dois) tratamentos: Plantas Comerciais e Plantas Halófitas e, para cada tratamento, foram realizadas 2 (duas) repetições.

4.4. Variáveis Físico-Químicas da Água

No sistema de cultivo de camarões, diariamente, com frequência de duas a três vezes ao dia, o oxigênio dissolvido e a temperatura foram mensurados pelo oxímetro YSI modelo Pro20. Na mesma frequência foram realizadas análises de pH, com o pHmetro KASVI, assim como a amônia, pelo teste colorimétrico Seachem Alert Series. Os sólidos suspensos totais eram mensurados 3 vezes ao dia, às 07:00h, às 11:00h e às 17:00h, através de Cone Inhoff J. Prolab. Semanalmente, foram avaliados os índices de nitrato e a alcalinidade, pelo Teste KH Veromar. Também com frequência semanal, através o Refratômetro Lorbem, modelo Escala Tripla, era quantificada a salinidade.

No reservatório do experimento as análises foram realizadas uma vez por semana, avaliando oxigênio dissolvido, amônia, pH e temperatura.

4.5. Desempenho Zootécnico dos Camarões

Para a avaliação da taxa de crescimento foi realizada biometria semanal, com amostragem de 05 (cinco) camarões de cada tanque. Os animais eram colocados em becker com água e pesados em balança digital. Após a pesagem, os valores individuais eram somados e divididos por 5, para obtenção da média de peso e multiplicados pelo número total de indivíduos, já considerada a taxa de mortalidade anotada. Assim, obtinha-se a biomassa total, para base de cálculo de arrastamento e curva de crescimento, tendo em vista que a ração era um dos fatores de entrada de nitrogênio no sistema.

4.6. Índice de Produção das Plantas

Quanto ao crescimento e sanidade das plantas, foi feita observação através da adoção da técnica de diagnose visual, uma importante ferramenta para avaliar os sintomas de deficiência ou toxidez de um elemento, pela aparência da planta, sobretudo, pela coloração de suas folhas. (FAQUIN, 2002 *apud* MALAVOLTA *et al.* 1997).

4.7. Análise Estatística

Com a intenção de verificar se houve diferença em relação à redução dos compostos nitrogenados, foi realizada uma análise da diferença entre os valores na data da entrada no tanque de aquaponia e da água vinda do sistema de cultivo pelos clarificadores, num total de 06 amostras. A comparação das médias das diferenças foi realizada utilizando o teste t pareado. Para todos os testes foi utilizado $\alpha = 0,05$ e, as análises estatísticas disponíveis no pacote básico do *software* R.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Sistema de Cultivo de Camarões

Durante a 1ª safra, a temperatura oscilou entre 23,7 e 28 °C, ligeiramente abaixo do preconizado por Gaona (2015) para o cultivo do *L. Vannamei*, cuja zona de conforto térmico situa-se entre 26 e 30°C. O potencial hidrogeniônico se manteve constante ao longo do ciclo de produção, não apresentando diferença significativa, nem entre tanques e nem entre fases. A estabilidade do pH pode ser atribuída ao poder tampão desempenhado pela alcalinidade, uma vez que essa variável manteve-se dentro dos índices indicados por Furtado *et al* (2015), apresentando média de 230 mg L⁻¹ CaCo₃ ao longo do ciclo de produção. Além da estabilidade promovida pela capacidade de neutralização dos ácidos, há que se considerar que não houve mortalidade significativa no sistema de cultivo que promovesse uma acidificação maciça do ambiente de cultivo, tendo a taxa de sobrevivência de todo período ficado em 92,1 ± 5,00 %.

A água, salinizada artificialmente até 15 mg L⁻¹ para receber as larvas, posteriormente aclimatadas até 10 mg L⁻¹, também não apresentou diferença significativa, tendo médias similares entre os tanques (10,6 a 11 mg L⁻¹), mantendo-se adequada ao cultivo do *L. Vannamei* em baixa salinidade, conforme preconizado por Medeiros Júnior (2019). Essa pequena elevação era observada ao longo da semana, resultante da ação da evaporação, o que rapidamente se normalizava ao reestabelecer os níveis com adição de água doce semanalmente.

Os sólidos suspensos totais acompanharam o desenvolvimento da microbiota do sistema de bioflocos, iniciando em 2,7 mg L⁻¹ e atingindo 13 mg L⁻¹ ao final do sistema de cultivo. Quando os índices ultrapassavam 10 mg L⁻¹, era acionada a circulação através do clarificador para decantação do excesso de flocos, até que os sólidos atingissem a marca de 10 mg L⁻¹, conforme proposto por Avnimelech (1999).

No cultivo BFT, o uso dos clarificadores reduz a concentração de sólidos, melhorando a qualidade da água e o desempenho zootécnico do camarão (PINHEIRO, 2015; RAY *et al.*, 2010; SCHVEITZER *et al.*, 2013). Estima-se que cerca de 5% do volume total da produção seja descartada pelos clarificadores. Durante todo o período fora retirado cerca de 4.187,50L, ou seja, 67% do esperado para a produção. Uma redução de 33% que, provavelmente, se deve ao fato do controle do floco, utilização da ração e melaço, protocolo já utilizado pela piscicultura. Esse volume, oriundo dos clarificadores, foi direcionado à segunda parteda unidade experimental, o reservatório para irrigação do sistema NFT.

A concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) diminui ao longo da produção, 0,6 e 0,055 mg L⁻¹, indicando a eficiência dos agregados microbianos na decomposição dos compostos nitrogenados e, conseqüentemente, a transformação desses compostos em fonte protéica para os animais. As médias estão detalhadas na tabela 1.

Mês/Parâmetros	pH	O ₂ mg L ⁻¹	Amônia mg L ⁻¹	Temperatura C°	Floco mg L ⁻¹	Biometria G	Salinidade mg L ⁻¹
SETEMBRO	6,6	7,0	0,6	23,2	2,7	0,3	10,6
OUTUBRO	6,4	6	0,035	25	12	0,93	11
NOVEMBRO	6,7	6	0,022	27	13	4,2	11
DEZEMBRO	6,6	5	0,055	28	13	8,2	11

Tabela 1: Médias parâmetros 1ª safra.

O ciclo produtivo teve duração de 15 semanas e o peso final médio individual obtido foi de 8,2 ± 0,5g. Wasielesky (2006) afirma que o crescimento médio esperado para o *L. Vannamei*, após atingir 1g (cerca de quatro semanas em sistema trifásico), é de 1g por semana, em densidades de até 100 animais por m³. Considerando-se que a densidade praticada foi de seis vezes a citada na literatura, atribui-se ao adensamento e características territorialistas da espécie, o menor peso

final, ainda sendo extremamente satisfatório quando se considera a biomassa total por m³.

As variáveis de qualidade d'água analisadas durante a segunda safra (dezembro a abril de 2020) são apresentadas na Tabela 2. A temperatura mostrou-se ligeiramente mais elevada do que na 1ª safra, mantendo-se entre 25,2 a 30°C, mais próxima à zona de conforto proposta por Gaona (2015). Mesmo com o aumento da temperatura, o oxigênio dissolvido manteve-se em níveis satisfatórios para o cultivo, em função da aeração forçada, uma vez que Boyd (2004) afirma que valores de temperatura e oxigênio dissolvido são inversamente proporcionais em sistemas aquáticos (5,7 a 6,8 mg L⁻¹). Assim como na 1ª safra, o pH e a salinidade não apresentaram diferença significativa entre os tanques, tampouco oscilações. Evidenciando o desenvolvimento dos flocos, a concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) diminuiu ao longo da produção, 0,5 e 0,02 mg L⁻¹.

Tabela 2: Médias parâmetros 2ª safra

Mês/Parâmetro	pH	O ₂ mg L ⁻¹	Amônia mg L ⁻¹	Temperatura C°	Floco mg L ⁻¹	Biometria G	Salinidade mg L ⁻¹
DEZEMBRO	5,3	5,7	0,5	30	5	0,66g	10
JANEIRO	5	6,6	0,02	29	12	2g	11
FEVEREIRO	5	6	0,02	29	9	3g	11
MARÇO	5	6,7	0,02	26	12	6g	10
ABRIL	5,1	6,8	0,02	25,2	8	7,5g	10

5.2. Reservatório Experimentos com Plantas

Nas análises realizadas na água do reservatório que irrigava o sistema NFT, a temperatura (25 a 27,33°C) esteve bem próxima ao do sistema de cultivo de camarões, apesar de instalados em ambientes fisicamente distintos. Enquanto essa faixa de temperatura mais elevada é adequada para os animais, nem sempre é a mais indicada para os vegetais, situando -se bem próxima à margem de tolerância máxima

para o cultivo, que é de 28°C. No geral, a faixa de temperatura ideal para sistemas aquapônicos ocorre entre 17°C e 28°C. Vegetais de clima frio (estações secas) requerem uma temperatura entre 8°C e 20°C, enquanto os de verão (estações chuvosas) requerem temperaturas entre 17°C e 30°C. Muitos vegetais de folhas verdes crescem melhor em condições mais frias (14°C e 20°C), especialmente no período noturno. Em temperaturas mais elevadas (acima de 26°C) as plantas de folhagem verde crescem exponencialmente, o que as deixa com o sabor muito “amargo” e inviáveis para a comercialização (CUBA, 2015 *apud* CASTELLANE & ARAÚJO, 1995).

Em contrapartida, enquanto amônia e nitrito são extremamente tóxicos para os organismos aquáticos e devem ser mantidos abaixo de 1 mg L⁻¹, nos cultivos aquapônicos o ideal é manter a amônia e o nitrito entre 0-1 mg 1 MG/L-1. Em níveis elevados de nitrato (acima de 250 mg L⁻¹) há um impacto negativo nas plantas, levando ao crescimento vegetal em excesso e a um acúmulo prejudicial de nitrato nas folhas, o que é perigoso para a saúde humana. Portanto, é recomendado que se mantenha o nitrato de 5-150 mg L⁻¹ (FAO, 2015). Em ambos os tratamentos, tanto nas plantas comerciais quanto na *Salicornia*, os índices de amônia se mantiveram abaixo de 0,5 mg L⁻¹. Dos 4.187,50 litros depositados no reservatório destinado ao experimento, 98% da água retornou ao sistema de cultivo após o tratamento (sistema irrigação plantas). O parâmetro adotado para a devolução era a baixa na concentração de amônia, 0,02 mg L⁻¹.

A fim de verificar se houve diferença em relação à redução dos compostos nitrogenados entre os tratamentos, foi realizada uma análise da diferença entre os valores iniciais e finais mensurados. Ou seja, na chegada da água no reservatório oriunda dos clarificadores e na saída das calhas após a passagem pelas plantas, em ambos tratamentos (comerciais e halófitas). A comparação das médias das diferenças foi realizada utilizando um teste t, no qual o resultado encontrado foi $p = 2,22$, ou seja, não houve diferença significativa entre os tratamentos, podendo assim afirmar que, tanto plantas comerciais quanto plantas halófitas são eficientes para a redução dos níveis de amônia em sistema de aquaponia.

O sedimento não fora retirado do sistema. Apesar disso, é possível que tenha ocorrido retenção e a degradação dos sólidos no interior do sedimentador, na bomba e na calha da bancada aquapônica, uma vez que houve redução na concentração de floco no experimento (PINHEIRO, 2015; RAKOCY, 2012; RAY *et al.*, 2010).

Essa redução foi observada nos dois tratamentos, plantas comerciais e

halófitas. No tratamento Plantas Comerciais, notou-se maior acentuação dessa redução, possivelmente devido à retenção de floco 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 biofloco provavelmente foi responsável também pela redução da biomassa de bactérias nitrificantes no sistema (HU *et al.*, 2015). Com o crescimento das bactérias oxidantes de amônia, o NAT acumulado foi gradativamente oxidado a NO₂ (HU *et al.*, 2015). A oxidação do nitrito a nitrato é um processo que ocorre mais lentamente, resultando no acúmulo de NO₂ e na manutenção das baixas concentrações de NO₃ no sistema (PINHEIRO, 2015; EBELING *et al.*, 2006; RAY *et al.*, 2011).

Acredita-se também que o movimento da água pela calha possa ter influenciado na diminuição da amônia, com a entrada forçada de oxigênio.

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 (13 a 15 mg 1 MG/L-1). A concentração de sólidos suspensos totais foi menor no tratamento Plantas Comerciais (6 mg L⁻¹) do que nas Plantas halófitas (7 mg L⁻¹), provavelmente devido a área de raízes das primeiras em detrimento às últimas.

5.3. Desenvolvimento das Plantas Halófitas

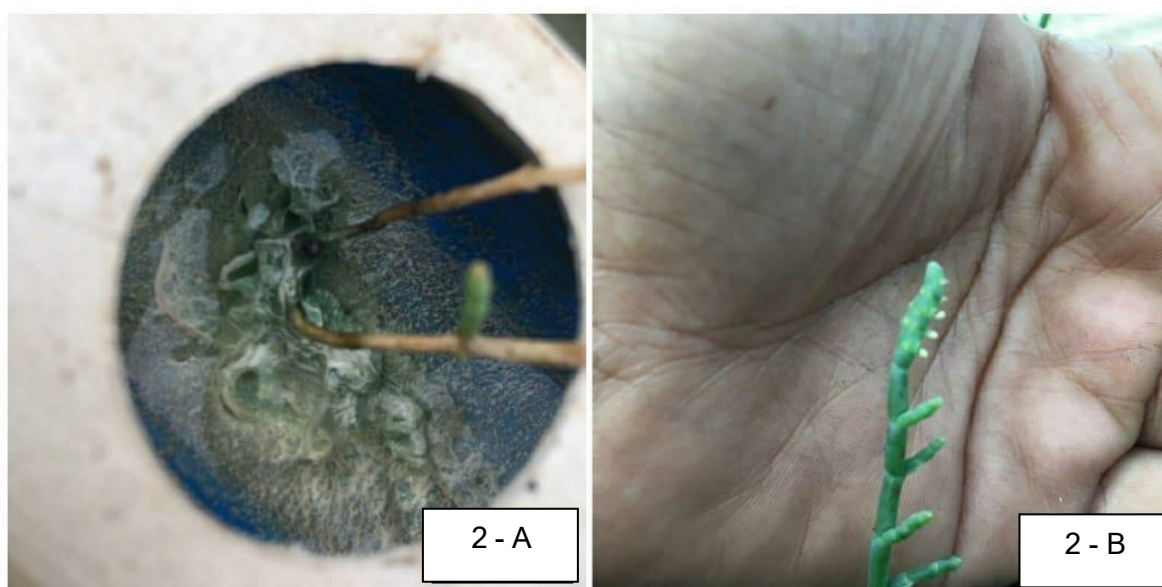
A produção de halófitas pode variar de acordo com a espécie e a salinidade à qual é submetida durante o cultivo (PINHEIRO, 2015; VENTURA e SAGI, 2013; VENTURA *et al.*, 2011). Espécies do gênero *Sarcocornia* são caracterizadas por apresentar crescimento lento e baixa produtividade quando irrigadas com água marinha (PINHEIRO, 2015 *apud* VENTURA *et al.*, 2011).

Contudo, após 56 dias de experimento, observou-se a mortalidade de apenas 3 indivíduos dos 13 colocados no início, ou seja, 23%.

Ao realizar diagnose visual, podemos observar que as plantas apresentaram uma leve clorose no primeiro nó do caule. Observamos também o acúmulo de sal e matéria orgânica nas raízes (Fig 2-a). Pode-se notar, ao longo do

experimento, a flor masculina em antese (Fig. 2 -b), o que evidencia que as plantas estavam sob condições favoráveis de crescimento e desenvolvimento. A mortalidade pode ser associada ao excesso de matéria orgânica acumulada nas raízes.

Figura 2: 2-A Raiz com excesso de matéria orgânica e clorose nos entre nós do caule; 2-B Flor masculina em antese evidenciando o desenvolvimento satisfatório das mudas.



5.4. Desenvolvimento das Plantas Comerciais

As plantas comerciais sofreram várias cloroses ao longo do experimento, demonstrando que o excesso de minerais disponíveis na água causava desequilíbrio, o que resultava em patologias e morte.

Como a água utilizada na produção de camarão possui um balanço iônico no qual os parâmetros médios possuem 140 mg L⁻¹ CaCO₃ mg 1 MG/L-1; Na:10 mg 1 MG/L-1; Cl:17 mg 1 MG/L-1; Ca: 314 mg 1 MG/L-1; Mg:904 mg 1 MG/L-1; K:302 mg 1 MG/L-1; Estrôncio; mg 1 MG/L-1; Sulfatos: 2.400 mg 1 MG/L-1; Carbonatos: 105 mg 1 MG/L-1; B:4 mg 1 MG/L-1 e F:1, mg 1 MG/L-1 e, o pH indicado para a produção das principais cultivares é de 6 a 6,5, faixa na qual permaneceu a

água do sistema de cultivo, permitindo que os nutrientes estejam facilmente disponíveis. Uma das hipóteses que se permite levantar, pelos sintomas apresentados pelas hortaliças, é a de que houve deficiência de boro, sendo necessárias mais repetições e análises químicas e bromatológicas para tomar essa suposição como verdadeira.

6. CONCLUSÃO

O uso de *Sarcocornia ambigua* no cultivo aquapônico com *Litopenaeus vannamei* evidenciou uma redução do nitrogênio amoniacal na água do sistema de cultivo, mostrando-se eficiente para tal finalidade.

As plantas comerciais se mostraram pouco tolerantes ao sistema, apresentando várias patologias ao longo do experimento, por desordem de micronutrientes e temperatura.

Após serem utilizadas nas calhas, observou-se que a *Sarcocornia ambigua* obteve uma redução da taxa de compostos nitrogenados possibilitando a sua reutilização no sistema de produção de *Litopenaeus vannamei*, sem causar qualquer alteração no desempenho zootécnico do camarão, apenas reduzindo as quantidades de carbono a serem adicionadas no sistema para a redução dos níveis de nitrogênio, tornando-se uma alternativa economicamente viável para o Reuso do efluente do sistema de cultivo de camarões em bioflocos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. RESOLUÇÃO CONAMA N° 20, DE 18 DE JUNHO DE 1986. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revgd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revgd_357_20_05.pdf. Acesso em 06 agosto de 2021.

_____. RESOLUÇÃO CONAMA N° 357/2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em 06 de agosto de 2021.

_____. RESOLUÇÃO CONAMA N° 397, DE 03 DE ABRIL DE 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA>

[%20n%C2%BA%20397%20Alterar%20o%20artigo%2034%20da%20Resol%20CONAM A%20357.pdf](#). Acesso em 06 de Agosto de 2021.

____RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430/2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em 06 de Agosto de 2021.

AVNIMELECH, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176: 227-235.

ALENCAR, J. R.; HORTA JÚNIOR, P. A.; CELINO, J. J. Cultivo de camarão branco *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931) com a Macroalga Ulva *Lacuata Linneaus (Chlorophyta)* no tratamento de efluentes em sistema fechado de recirculação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.10, p.117-137, 2010.

BOYD CRAB, R, DEFOIRDT, T, BOSSIER, P, VERSTRAETE, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 351-356:356-357.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F. M.; ABIMORAD, E.

G. Aquaponia: Aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. *Bioikos*, v.23, p.67- 75, 2009.

CASTELLANI, D; ARAÚJO J. A. C. Cultivo sem solo: hidroponia. Faculdade de Ciências Agrônômica e Veterinária Jaboticabal, Funep 1995 43p.

CASTELLO, J. P.; POERSCH, L.; VASCONCELLOS, M. C.; CAVALLI, R.; WAS CUBA, R. S.; Cultivo hidropônico de alface com água de Reuso. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos *campus Araras*, 2015.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *aquaculture*, v. 277, p. 126-137, 2008.

FAO. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. 288 p. Rome, Italy. 2014.

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

GAONA 2015 Muniz Medeiros Júnior, Jacob & Júnior, Medeiros & Crispim, Maria Cristina. (2019). Cultivo em água doce de *Litopenaeus vannamei* com compensação de sais, através da dieta, em salinidades próximos a zero. 3. 61. 10.33501/revetos.v3n1.2019.023.

GAONA, C.A.P. 2011. Efeito da remoção de sólidos suspensos totais e desempenho zootécnico do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema superintensivo com bioflocos. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Instituto de Oceanologia, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2012.

GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B. 2006. - A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting., *Journal of cleaner production*, 14, p.201-210.

HARGREAVES, JÁ. 2013. Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*. No. 4503, 1-2.

HARGREAVES, JA. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34:344–363.

HUNDLEY, G. C. Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2013.

KRUMMENAUER, D., SAMOCHA, T., POERSCH, L.H., LARA, G., WASIELESKY, W., 2014. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. *Journal of the World Aquaculture Society* 45,3-14.

LIN, Y. F.; JING, S. R.; LEE, D. Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environmental Pollution*, v.123, p.107-113, 2003.

MOURA, P. G. et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* [online]. 2020, v. 25, n. 6, pp. 791-808. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>. Acesso em 18 de janeiro 2020.

NETO, E. B.; BARRETO, L. P. Técnicas de Hidroponia. In: academia pernambucana de Ciência Agrônômica, 8 e 9. 2012, Pernambuco. Anais...Pernambuco: academia pernambucana de Ciência Agrônômica, 2011/2012. P. 107- 137

OLIVEIRA, F. de A. de et al. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Rev. bras. eng. agríc.ambient.*, Campina Grande , v. 15, n. 8, p. 771-777, Aug. 2011.

OSTRENSKY, AN, 2002. Aquicultura brasileira e sua sustentabilidade. XII Simpósio Brasileiro de Aquicultura. Anais. pp. 4-10.

PINHEIRO, I. C. Produção de halofita *Sacocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

ROCHA, I.P. A importância da aquicultura e da carcinicultura no contexto da produção mundial de pescado: desafios e oportunidades para o Brasil. Revista ABCC, v. 15, n. 2, p. 16-26, 2013.

SAMOCHA, TM, PATNAIK,S,SPEED,M,ALI,AM,BURGER,JM,ALMEIDA,RV,AYUB, Z. 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*,36:184–191.

SANDU, S. I.; BOARDMANB, G. D.; WATTENC, B. J.; Brazil, B. L. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filters with a plastic beans medium. *Aquacultural Engineering*, v.26, p.41-59, 2002.

SANTOS, F. J. de Seixas. Cultivo de tilápia e uso de seu efluente na fertirrigação de feijão vigna. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2009.

SATTERTHWAITE, D. Como as cidades podem contribuir para o Desenvolvimento Sustentável. In: MENEGAT, Rualdo e ALMEIDA, Gerson (org.). *Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades, Estratégias a partir de Porto Alegre*. Porto Alegre: UFRGS Editora, pp. 129-167, 2004.

SILVA, P. R. D.. Desenvolvimento e avaliação preliminar de sistema aquapônico com Bioflocos. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro campus Uberaba, 2016.

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.

SCOPEL, B. R. et al. Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos cultivados em sistema bioflocos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília , v. 46, n. 8, p. 928-934, Aug. 2011.

TELLES, D. D. *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Blucher, 2012, 504p.

TYSON, R. V., SIMONNE, E. H., TREADWELL, D. D., WHITE, J. M. & SIMONNE, A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience*, 43(3):719-724.

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

WANG, J. K. Conceptual design of a microalgae-based recirculating oyster and shrimp system.

WASIELESKY, W, ATWOOD, H, STOKES, A, BROWDY, CL. 2006a. Effect natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258:396-403.