



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ailton Borges Rodrigues

**VALORIZAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS
PRODUZIDOS NA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA POR MEMBRANA
DE OSMOSE INVERSA**

Florianópolis

2022

Ailton Borges Rodrigues

**VALORIZAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS
PRODUZIDOS NA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA POR MEMBRANA
DE OSMOSE INVERSA**

Dissertação submetido ao Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Coorientadora: Dr^a. Thyara Campos Martins Nonato

Florianópolis

2022

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

Rodrigues, Ailton Borges

Valorização e destinação final dos resíduos produzidos na
dessalinização de água por membrana de osmose inversa /
Ailton Borges Rodrigues ; orientador, Maurício Luiz Sens,
coorientador, Thyara Campos Martins Nonato, 2022.

96 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, , Programa de Pós-Graduação em , Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. . 2. Aquaponia. 3. Concentrado. 4. Dessalinização. 5.
Sal. I. Luiz Sens, Maurício. II. Campos Martins Nonato,
Thyara. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em . IV. Título.

Ailton Borges Rodrigues

Valorização e destinação final dos resíduos produzidos na dessalinização de água por membrana de osmose inversa

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

Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Isabela Claudiana Pinheiro, Dr.a.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sérgio Luiz Bello, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande

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

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus, por me proporcionar vida, saúde e capacitar para mais esta etapa da vida. Sem ele, nada disso seria possível.

Agradeço a minha família e em especial a minha mãe Hermínia e a minha avó Maria que são exemplos de vida e determinação, e por todo suporte durante toda essa trajetória.

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Luiz Sens e coorientadora Dr^a. Thyara Campos Martins Nonato. Obrigado pela confiança, suporte e orientação neste trabalho, e pelo conhecimento compartilhado. Agradeço a todos meus colegas e professores do LAPOÁ, obrigado por compartilharem comigo seus anseios, alegrias e conhecimentos. Sou grato por ter feito parte deste grupo.

Agradeço também aos professores e alunos do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) que ajudaram emprestando e doando partes dos materiais para a realização dessa pesquisa. Em especial, a Isabela, Elaine, Ramon, Prof. Walter e prof. Felipe, que deram dicas e ajuda valiosíssimas para a realização deste trabalho.

À estagiária Núbia que me ajudou durante todo o processo de montagem e manejo do piloto. E Agradeço a todos os colegas e amigos que direta ou indiretamente fizeram parte desta caminhada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA-UFSC) pela estrutura e experiência. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Por fim, agradeço aos membros da banca, Prof. Dr. Bruno Pizzolatti, Dr^a. Isabela Pinheiro e Prof. Dr. Sérgio Bello que aceitaram doar seus tempos e compartilhar seus conhecimentos nesta banca de mestrado.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.” (Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

A aplicação de dessalinização por membranas filtrantes tem como problemática a geração de um resíduo do processo, com alta concentração de sais (concentrado). Esse resíduo é um poluente ambiental, principalmente quando a dessalinização é executada longe do mar. É responsável pela salinização da água de rios e dos solos e consequente diminuição da produtividade do solo, limitando o crescimento de plantas. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo o estudo da valorização do concentrado da dessalinização através do sistema aquapônico, e o estudo da valorização do sal do concentrado da osmose inversa e do sal do efluente do sistema aquapônico. Foi dessalinizada a água de estudo (água salobra) gerando o concentrado, que parte foi usado para a operação do sistema piloto aquapônico experimental no cultivo de *Litopenaeus vannamei* (conhecido como camarão-branco-do-pacífico) e de espinafre-da-nova-zelândia (*Tetragonia tetragonioides*) em bioflocos microbianos, e a outra parte foi evaporada e gerado o sal, assim, também o efluente aquapônico foi evaporado e produzido o sal. O peso médio inicial dos camarões era de 1,5 g e a densidade de estocagem utilizada no cultivo foi de 250 camarões m⁻³. O experimento decorreu por 74 dias, e o peso final foi de 14,57 g e a sobrevivência de 18%. A baixa sobrevivência pode ser devido à alta concentração de nitrito na água do cultivo 11,75 mg/L, que pode ser tóxico aos camarões, e também pelo balanço iônico do sistema que não estava próxima da água do mar. Por isso, recomenda-se iniciar o experimento quando o biofoco do sistema estiver em estágio quimioautotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido ou trabalhar com salinidade maior. O experimento do espinafre decorreu por 49 dias com biomassa inicial de 29,38 g e final de 519,41 g. Foi observado déficit de ferro nas folhas de espinafre, recomenda-se a adição deste no sistema. Na produção dos sais observou-se que quando eram destilados geravam em média 9,93 g/L e 7,20 g/L de sal do efluente do sistema aquapônico e do concentrado, respectivamente. Os sais produzidos foram analisados e avaliados as suas possibilidades de uso como sal de cozinha, sal para a salinização de águas de criação de peixes, sal como ingrediente de misturas comerciais para bovinos, e como produto final "*in natura*" também para bovinos. Nos sais não foram detectados os microrganismos patogênicos analisados, que foram: bactérias *E. coli.*, *Salmonella*, colifagos somáticos PhiX e RNA F-específico MS2. Quanto as análises físico-químicas realizadas: umidade, resíduos insolúveis, cálcio, magnésio e sulfato, todas estavam fora dos limites esperados de acordo com o decreto 75.697, de 6 de maio de 1975, que dispõe de padrões de qualidade para o sal destinado ao consumo humano, e o decreto n° 80.583, de 20 de outubro de 1977, que estabelece padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo animal. Existe a possibilidade da valorização dos sais caso seja feita a lavagem na sua produção. Os resultados obtidos poderão incentivar a aplicação de uma tecnologia simples e social. Assim, a partir da valorização dos resíduos produzidos na dessalinização de água por membranas de osmose inversa, diminuindo o seu impacto inerente à deposição destes na natureza.

Palavras-chave: Aquaponia. Concentrado. Dessalinização. *Litopenaeus vannamei*. Espinafre da Nova Zelândia. Sal. Valorização.

ABSTRACT

The process of desalination through filtering membranes leads to the issue of generating a residue with a high concentration of salts (concentrate). This residue is an environmental pollutant, especially when desalination is carried out far away from the sea. It is responsible for the salinization of water in rivers, soils and a decrease in soil productivity, limiting plant growth. In this context, the objective of the present research was to study the valorization of desalination concentrate through an aquaponic system, and the study of the valorization of the salt from the reverse osmosis concentrate and the salt from the effluent of the aquaponic system. The study water (brackish water) was desalted, generating the concentrate, which part was used for the operation of the experimental aquaponic pilot system in the cultivation of *Litopenaeus vannamei* (known as Pacific white shrimp) and New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) in microbial bioflocs, and the other part was evaporated, generating salt, thus, also the aquaponic effluent was evaporated, producing salt. The initial average weight of the shrimp was 1.5 g and the stocking density used in the culture was 250 m⁻³. The experiment was carried out for 74 days, resulting in a final weight of 14.57 g and a survival rate of 18%. The low survival may be due to the high concentration of nitrite in the culture water 11.75 mg/L, which can be toxic to shrimp, and also due to the ionic balance of the system that was not close to seawater. Therefore, it is recommended to start the experiment when the biofloc system is in the chemoautotrophic stage, with the nitrification process established, or work with higher salinity. The spinach experiment was carried out for 49 days, with an initial biomass of 29.38 g and a final biomass of 519.41 g. Iron deficiency was observed in the spinach leaves, thus, adding iron into the system is recommended. In the production of salts, it was observed that when they were distilled, they generated an average of 9.93 g/L and 7.20 g/L of salt from the effluent of the aquaponic system and from the concentrate, respectively. The salts produced were analyzed and evaluated their possibilities of use as table salt, salt for salinization of fish farming waters, salt as an ingredient of commercial mixtures for cattle, and as a final product "*in natura*" also for cattle. The analyzed pathogenic microorganisms were not detected in the salts, which were: *E. coli* bacteria, *Salmonella*, PhiX somatic coliphages and F-specific RNA MS2. As for the physical-chemical analyzes carried out: moisture, insoluble residues, calcium, magnesium and sulfate, all were outside the expected limits according to decree 75,697, of May 6, 1975, which has quality standards for salt destined for human consumption, and Decree 80,583, of October 20, 1977, which establishes identity and quality standards for salt intended for animal consumption. There is the possibility of the recovery of salts if washing is carried out in its production. The results obtained could encourage the use of technology that is simple to apply and brings benefits to the community. Thus, the valorization of the waste produced in the desalination of water by reverse osmosis membranes reduces its inherent impact on the deposition of these in natural environments.

Keywords: Aquaponics. concentrate. Desalination. *Litopenaeus vannamei*. New Zealand spinach. Salt. Valorization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de delimitação do semiárido brasileiro.	23
Figura 2 - Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do polígono das secas da Sudene.	24
Figura 3 - Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste - Tipo de Água.	25
Figura 4 - Representação de um aquífero costeiro e a cunha salina.	27
Figura 5 - Séries temporais de capacidade global de dessalinização até janeiro de 2005.	28
Figura 6 - Fluxos básicos do processo de dessalinização.	28
Figura 7 - Representação do processo de osmose e osmose inversa.	31
Figura 8 - Características dos processos de separação por membranas.	32
Figura 9 - Esquema de uma membrana espiral.	33
Figura 10 - Unidade experimental aquapônico.	42
Figura 11 - Fluxograma geral da metodologia aplicada para a valorização do rejeito de membranas de OI.	46
Figura 12 - Vista perfil da estação de captação de água salina.	48
Figura 13 - Imagem real do Sistema Piloto de membranas de Osmose inversa.	49
Figura 14 - Esquema de funcionamento do sistema piloto.	50
Figura 15 - Camarões <i>Litopenaeus vannamei</i> e espinafre da Nova Zelândia utilizados no início do experimento.	51
Figura 16 - Piloto aquapônico utilizado na pesquisa.	52
Figura 17 - Estufa: 1- apresenta a base de pallets com o sistema piloto aquapônico em cima; 2 – apresenta a estrutura de PVC fixados na base de pallets; 3 – apresenta a estufa completa com sombrite e aberturas nas laterais.	54
Figura 18 - Destiladores solares do tipo pirâmides usados na produção de sais.	56
Figura 19 - Diagrama de Piper (A) e diagrama de Shoeller e Berkaloff (B) da água de estudo e concentrado.	61
Figura 20 - Sólidos suspensos totais ao longo das semanas do experimento.	63
Figura 21 - Apresenta em quantidade a entrada e saída de água, concentrado e bioflocos ao longo das semanas do experimento.	64
Figura 22 - Valores semanais de Nitrogênio amoniacal total (NAT).	65
Figura 23 - Valores semanais do nitrito.	67
Figura 24 - Valores semanais do nitrato.	67
Figura 25 - <i>L. vannamei</i> no último dia do experimento aquapônico.	68

Figura 26 - Média dos nitritos semanais registrados nas semanas 4 a 9.	70
Figura 27 - Número de morte do <i>L. vannamei</i> semanais registrados nas semanas 4 a 9.....	70
Figura 28 - Espinafre da Nova Zelândia na última semana do experimento.....	72
Figura 29 - Sal do concentrado e sal do efluente aquapônico depois de serem coletados para as análises.	75
Figura 30 - Dessalinização da água de estudo gerando concentrado.	90
Figura 31 - Montagem de Estufa que recebeu o sistema piloto aquapônico.	91
Figura 32 - Sistema piloto aquapônico de cultivo de <i>L. vannamei</i> e espinafre da Nova Zelândia no início do experimento.	92
Figura 33 - Espinafre da Nova Zelândia no dia da colheita.	93
Figura 34 - <i>L. vannamei</i> no dia da despesca.....	94
Figura 35 - Pequena parte do concentrado da dessalinização (A) e do efluente do sistema aquapônico (B) utilizados na destilação.	94
Figura 36 - Destilação solar do concentrado.	95
Figura 37 - Destilação solar do efluente do sistema aquapônico.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição aproximada e relações iônicas da água do mar (Mar 35 ppt) como base para o balanceamento iônico de águas com diferentes metas de salinidade para o cultivo de <i>L. vannamei</i>	38
Tabela 2 - Características físicas e químicas dos diferentes tipos de sal.....	44
Tabela 3 - Característica da água de estudo, concentrado e efluente da aquaponia.....	59
Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água do sistema piloto aquapônico.	62
Tabela 5 - Desempenho zootécnico de <i>L. vannamei</i> cultivado em sistema aquapônico com bioflocos durante 74 dias com densidade de 250 camarões m ⁻³	68
Tabela 6 - Concentrações dos íons do balanço iônico do concentrado usado no experimento e do sistema piloto aquapônico na semana 7 (quando teve alta nas mortes dos camarões), semana 8 (quando foi feita troca de parte de bioflocos com concentrado), semana 11 (último dia do experimento) e comparando com as proporções de concentrações de água do mar e para proporção estimada para 10 ppt segundo Kubitza (2019).	69
Tabela 7 - Índices fitotécnicos do espinafre da Nova Zelândia cultivado em sistema de aquaponia com bioflocos microbianos durante 49 dias.....	71
Tabela 8 - Resultado das análises físico-químicas dos sais em comparação com o sal do tipo 2 e 3.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT - *Biofloc* Technology (Tecnologia de Bioflocos)

BOA - Bactérias Oxidantes de Amônia

BOM - Bactérias Oxidantes de Nitrito

Ca - Cálcio

CIP - *Clean In Place* (Limpeza no Local)

Cl – Cloro

C:N – Carbono/ Nitrogênio

Co - Cobalto

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr - Cromo

Cu - Cobre

CV - Cavalo-Vapor

DN - Diâmetro Nominal

ED - Eletrodiálise

ENS - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)

Fe – Ferro

F - Flúor

HCO₃⁻ /CO₃⁻² – Alcalinidade

I - Iodo

K - Potássio

LAPOÁ - Laboratório de Potabilização de Águas

LCM - Laboratório de Camarões Marinhos

MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional

MED - *Multiple-Effect Distillation* (Destilação de Múltiplos Efeitos)

Mg - Magnésio

mM - Massa Molar

MMA - Ministério do Meio Ambiente

Mn – Manganês

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (continuação)

Mo - Molibdênio

MSF - *Multi-Stage Flash Distillation* (Destilação de Múltiplos Estágios)

Na - Sódio

NaCl - Cloreto de Sódio

NAT - Nitrogênio Amoniacal Total

NFT - *Nutrient Film Technique*

Ni – Níquel

NO₂ – Nitrito

NO₃ - Nitrato

N₂ – Nitrogênio

OD - Oxigênio Dissolvido

OI - Osmose Inversa

OMS - Organização Mundial de Saúde

O₂ - Oxigênio

P - Fósforo

PAD - Programa Água Doce

pH - Potencial Hidrogeniônico

PVC - Policloreto de Vinila

S - Enxofre

SD - *Solar Desalination* (Destilação Solar)

Se – Selênio

Si - Silício

SO₄⁻² – Sulfato

SST - Sólidos Suspensos Totais

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

V - Vanádio

VC - *Vapor-Compression Desalination* (Destilação Compressão de Vapor)

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	SEMIÁRIDOS DO BRASIL	22
2.2	INTRUSÃO DA CUNHA SALINA	26
2.3	DESSALINIZAÇÃO.....	27
2.3.1	Processos de dessalinização térmica.....	29
2.3.2	Processos de dessalinização por membranas	30
2.3.2.1	<i>Osmose Inversa (OI).....</i>	<i>31</i>
2.3.2.2	<i>Membrana de osmose inversa em Espiral.....</i>	<i>33</i>
2.3.2.3	<i>Incrustações (Fouling).....</i>	<i>33</i>
2.3.2.4	<i>Pré-tratamento para membrana de osmose inversa.....</i>	<i>34</i>
2.3.2.5	<i>Limpeza da membrana.....</i>	<i>35</i>
2.3.2.6	<i>Concentrado da dessalinização.....</i>	<i>36</i>
2.4	LITOPENAEUS VANNAMEI E SEU CULTIVO	37
2.5	TETRAGONIA TETRAGONIOIDES.....	39
2.6	SARCOCORNIA AMBIGUA	40
2.7	AQUAPONIA COM PLANTA SARCOCORNIA AMBIGUA E CAMARÃO LITOPENAEUS VANNAMEI	41
2.8	SAL.....	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	ÁGUA DE ESTUDO.....	46
3.1.1	Coleta de água marinha	47

3.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA PILOTO DA OSMOSE INVERSA E OS SEUS COMPONENTES.....	48
3.3	MATERIAL BIOLÓGICO.....	50
3.4	SISTEMA PILOTO AQUAPÔNICO, CULTIVO DE BIOFLOCOS E MANEJO.....	51
3.5	ÍNDICES DO DESEMPENHO ZOOTÉCNICOS DOS CAMARÕES E FITOTÉCNICOS DO ESPINAFRE DA NOVA ZELÂNDIA	54
3.6	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA AQUAPÔNICO.....	54
3.7	PRODUÇÃO DO SAL DO CONCENTRADO DA OSMOSE INVERSA E O SAL DO EFLUENTE DO SISTEMA AQUAPÔNICO	55
3.8	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SAIS	56
3.9	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DOS SAIS	56
3.9.1	Parâmetros de qualidade da água de estudo, concentrado e efluente de aquaponia 56	
3.9.2	Parâmetros de qualidade do sal.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE ESTUDO, CONCENTRADO E EFLUENTE DA AQUAPONIA	59
4.2	QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA PILOTO AQUAPÔNICO	61
4.3	DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	67
4.4	DESEMPENHO FITOTÉCNICO	71
4.5	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS SAIS PRODUZIDOS	72
4.6	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SAIS	73
4.6.1	Análises dos microrganismos patogênicos.....	73
4.6.2	Análises físico-químicas dos sais	73
4.7	POSSÍVEIS USO DO SAL DO CONCENTRADO E SAL DO EFLUENTE AQUAPÔNICO.....	75
4.8	POSSÍVEIS DESCARTES DOS SAIS E DO CONCENTRADO DA DESSALINIZAÇÃO.....	76
5	CONCLUSÃO.....	77

REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICE	90

1 INTRODUÇÃO

A problemática de escassez hídrica repercute atualmente como um dos principais desafios enfrentados pela humanidade. Apenas 2,5% do volume total de água sobre a terra encontra-se como água doce, o restante 97,5% se encontra como água salgada. Dentro deste contexto, o Brasil apresenta uma situação privilegiada, contendo 12% da água doce superficial disponível no mundo. Entretanto, a distribuição dos recursos hídricos no território nacional ocorre de maneira desigual. Nas regiões do Nordeste e Sudeste já há casos de racionamento por causa da escassez de água (ANA, 2019).

Existem várias medidas para aliviar o estresse no abastecimento de água, como a conservação da água, o reparo da infraestrutura e os melhores sistemas de captação e distribuição (ELIMELECH; PHILLIP, 2011). Ainda de acordo com Elimelech e Phillip (2011), embora essas medidas sejam importantes, elas podem apenas melhorar o uso dos recursos hídricos existentes, e não os aumentar, assim, uma forma de aumentar o suprimento de água doce além do que está disponível no ciclo hidrológico é a dessalinização.

Para solucionar a escassez de água no Nordeste, a universalização do acesso à água potável até 2023, é uma das metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2014). O Brasil, por meio do Programa Água Doce (PAD) coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), investe em sistemas de dessalinização com membranas de osmose inversa para proporcionar água doce a populações de baixa renda em comunidades do semiárido localizadas no Nordeste.

A dessalinização pode ser realizada por meio de técnicas de separação térmica ou por membranas (CRITTENDEN et al., 2012; KHAWAJI et al., 2008). As técnicas de separação térmica utilizam de grandes demandas energéticas, e por essa razão não são atrativas em países cuja tarifa energética é elevada (SHANNON et al., 2008). Fortes investimentos na área de membranas nos últimos anos, principalmente em relação à técnica de Osmose Inversa (OI), alavancaram o seu uso no processo de dessalinização (CRITTENDEN et al., 2012). O resultado da aplicação dessa técnica é um líquido com baixa concentração de sais, denominado permeado, e um com alta concentração de sais, denominado rejeito ou concentrado (BRUGGEN; VANDECASTEELE, 2002).

Nesse contexto, a disposição final inadequada do concentrado da OI pode causar a chamada salinização secundária de solos, que pode ter origem por práticas de irrigação e disposição do concentrado no solo, e pode limitar o crescimento de plantas, entre outras

consequências. Na região semiárida do Nordeste Brasileiro, aproximadamente 25% das áreas irrigadas encontram-se salinizadas (GHEYI, 2000; BARROS et al., 2005 apud PEDROTTI et al., 2015). O resíduo produzido pela técnica de OI apresenta potencial de reuso, principalmente em relação à produção agrícola de espécies altamente tolerantes a grandes concentrações de sais (PORTO et al., 2001; SOARES et al., 2006; JORDAN et al., 2009; SANTOS et al., 2011; MOURA et al., 2016). Entre as espécies de plantas com essas características, pode-se citar a *Sarcocornia ambigua*, a Erva-Sal (*Atriplex Nummularia*) e o espinafre da Nova-Zelândia (*Tetragonia tetragonioides*).

Nesse contexto, se torna interessante o uso do concentrado na aquaponia na produção de peixes e plantas halófitas. A aquaponia combina de forma integrada a produção hidropônica de plantas e a produção de peixes da aquicultura em um sistema agrícola sustentável, que utiliza ciclos biológicos naturais para fornecer nitrogênio e minimizar o uso de recursos não renováveis, proporcionando benefícios econômicos que podem aumentar com o tempo (TYSON et al., 2011; MEDINA et al., 2015; ZOU et al., 2015).

Havendo ainda a possibilidade da evaporação e produção de sais do concentrado da dessalinização e do efluente da aquaponia, que podem ser usados para benefícios para humanos e animais. Assim, esta pesquisa estudou alternativas para a destinação ecologicamente correta, por descarte ou valorização, de resíduos produzidos pelo tratamento de água salobra por membranas em unidades compactas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliação de alternativas para a destinação ecologicamente correta, por descarte ou valorização, de resíduos produzidos pelo tratamento de água salobra por membranas em unidades compactas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- (i) Propor, alternativas de melhoria de problemas quanto à correta destinação de resíduos do tratamento de água salobra por osmose inversa em unidades compactas;
- (ii) Caracterização, através de experimento quantitativa e qualitativamente, dos

resíduos (concentrados) gerados em sistema piloto de tratamento de água por osmose inversa;

(iii) Avaliação, através de experimento em sistema piloto aquapônico, da produção de camarões *Litopenaeus vannamei* e a espécie espinafre da Nova Zelândia (*Tetragonia tetragonioides*), usando o concentrado de sistema piloto de tratamento de água por osmose inversa.

(iv) Avaliação, através de experimentos em sistema piloto de tratamento de água por osmose inversa e do sistema piloto aquapônico, da produção de sal com base na destilação solar, e seu potencial para consumo humano e animal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEMIÁRIDOS DO BRASIL

Zonas áridas ou semiáridas são áreas que possuem águas em quantidade insuficiente para satisfazer as variadas demandas de sua população. Essas áreas possuem características ambientais singulares que, nitidamente, as diferenciam de outras. Assim, por exemplo, é possível verificar entre elas um determinado tipo de vegetação e fragilidades nos variados ecossistemas existentes. Geralmente, os diferenciadores de tais zonas são a carência de recursos hídricos, consequência da irregularidade na distribuição espacial das chuvas e de baixos volumes caídos e acumulados em determinadas estruturas geológicas (SUASSUANA, 2005).

Nas zonas semiáridas, a vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem as folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época de estiagem. Vegetação característica de regiões semiáridas são, por exemplo, as estepes, como as do Cazaquistão, e a caatinga, presente apenas no Nordeste do Brasil (CIRILO, 2008).

O Semiárido Brasileiro é composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Os critérios para delimitação do Semiárido foram aprovados pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107 de 27/07/2017, Brasil (2017a) e de nº 115 de 23/11/2017, Brasil (2017b), que dispõem de precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017). A Figura 1 apresenta o mapa de delimitação do semiárido.

Os problemas hídricos do Nordeste não se caracterizam pela falta total de água de superfície. Na realidade, o que existe é um desequilíbrio marcante na sua distribuição volumétrica, principalmente na região semiárida (SUASSUANA, 2012).

Figura 1 - Mapa de delimitação do semiárido brasileiro.

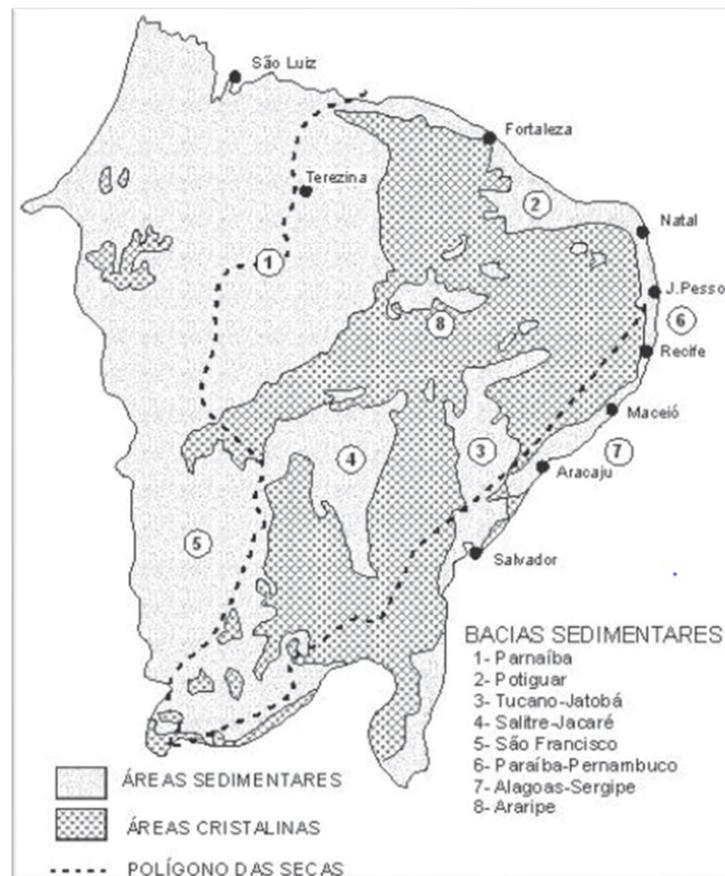


Fonte: Sudene (2017).

O Nordeste semiárido é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios. Essa situação deve-se à variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e consequentemente baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O resultado é a existência de densa rede de rios temporários. A maior exceção é o Rio São Francisco que nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, e só após centenas de quilômetros de percurso entra na região Nordeste. Outros rios permanentes são encontrados no Maranhão, no Piauí e na Bahia, com destaque para o Rio Parnaíba (CIRILO, 2008).

O Nordeste possui o maior volume de água represada em regiões semiáridas do mundo, e as descargas de seus rios proporcionam infiltrações de água nos aquíferos da ordem de 58 bilhões de m³/ano (SUASSUANA, 2012). De acordo com Cirilo (2008), no que se refere às águas subterrâneas, o território nordestino é mais de 80% constituído por rochas cristalinas, há predominância de águas com teor elevado de sais captadas em poços de baixa vazão, da ordem de 1 m³/h. A exceção ocorre nas formações sedimentares, em que as águas normalmente são de melhor qualidade e se podem extrair maiores vazões, da ordem de dezenas a centenas de m³/h, de forma contínua. A Figura 2 apresenta de forma esquemática, a ocorrência dos aquíferos no Nordeste.

Figura 2 - Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do polígono das secas da Sudene.

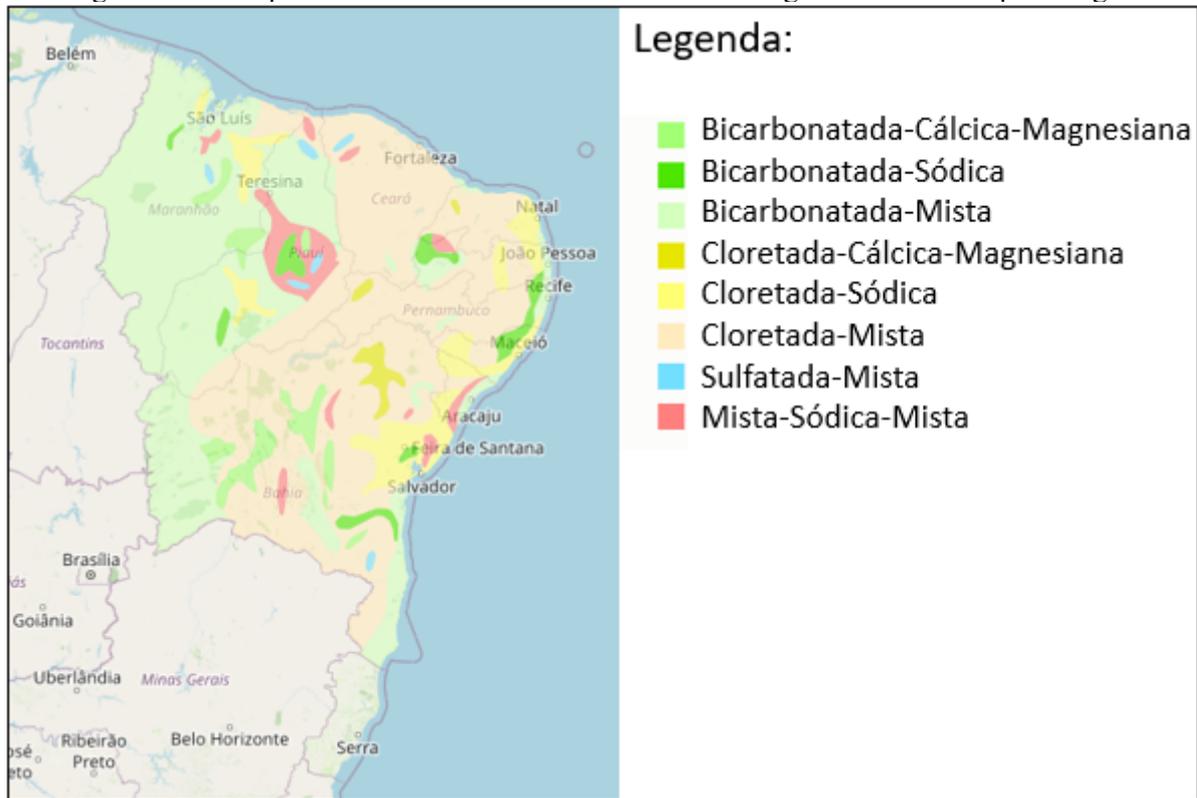


Fonte: Demetrio et al. (2007) apud Cirilo (2008).

A Figura 3 apresenta o mapa hidroquímico dos mananciais subterrâneos da região nordeste do Brasil, reúne um acervo de 10.478 análises físico-químicas de poços tubulares, onde foi desenvolvido um trabalho de individualização de zonas quimicamente homogêneas, utilizando critérios geológicos, fisiográficos e hidrogeológicos, que permitiram a demarcação de unidades que guardam características mais ou menos similares no âmbito de seus limites,

foram mapeados locais com águas: bicarbonatada cálcica magnesiana; bicarbonatada sódica; bicarbonatada mista; cloretada cálcica magnesiana; cloretada sódica; cloretada mista; sulfatada sódica mista; mista sódica mista (IBGE, 2015).

Figura 3 - Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste - Tipo de Água.



Fonte: (IBGE, 2015).

Para solucionar a escassez de água no Nordeste, a universalização do acesso à água potável até 2023 é uma das metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2014). O Brasil, por meio do Programa Água Doce (PAD) coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), investe em sistemas de dessalinização por osmose inversa para proporcionar água doce a populações de baixa renda em comunidades do semiárido localizadas no Nordeste. De acordo com Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), atualmente se tem 891 sistemas de dessalinização em funcionamento. A execução está assim distribuída entre os estados: 252 sistemas no Ceará, 93 sistemas na Paraíba, 29 sistemas em Sergipe, 39 sistemas no Piauí, 98 sistemas no Rio Grande do Norte, 94 sistemas em Alagoas e 286 sistemas na Bahia. Os sistemas de dessalinização implantados até o momento possuem capacidade instalada para produzir cerca de 3,5 milhões de litros de água potável por dia e atendem diretamente 214 mil pessoas (MDR, 2021).

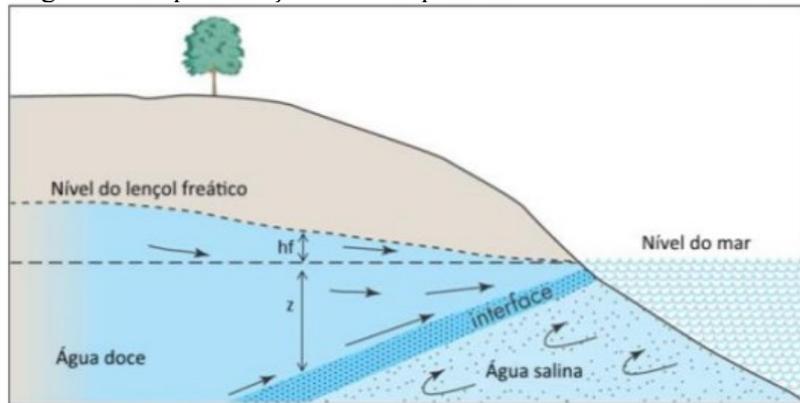
2.2 INTRUSÃO DA CUNHA SALINA

Para melhor entender as diferenças entre águas doce, salobra e salgada se tem a classificação da água em função da salinidade que é definida pela Resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005), a qual apresenta a seguinte classificação: águas doces têm salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, águas salobras têm salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ e águas salinas têm salinidade igual ou superior a 30 ‰.

A água doce armazenada no subterrâneo nas áreas costeiras é particularmente suscetível à degradação devido à sua proximidade com a água do mar, principalmente quando combinada com as intensas demandas de água que muitas vezes se dá pela densidade populacional nas zonas costeiras. A intrusão da cunha salina da água do mar é uma questão global, que se dá pelo aumento da demanda por água doce nas zonas costeiras e predisposta às influências do aumento do nível do mar e da mudança do clima. A intrusão da cunha salina da água do mar é causada por mudanças prolongadas nos níveis das águas subterrâneas costeiras devido a bombeamento, mudança no uso da terra, variações climáticas ou flutuações no nível do mar, resultando no avanço da água do mar e a mistura com a água doce. Os principais efeitos prejudiciais são a redução no volume de armazenamento de água doce disponível e a contaminação dos poços, tornando a água doce imprópria para o consumo (WERNER et al., 2013).

Explicando esse fenômeno, à luz da Figura 4, podemos dizer que, em estado natural, antes de iniciar o bombeamento, existe um gradiente hidráulico no aquífero que introduz um fluxo de água doce em direção ao mar, que é responsável pelo equilíbrio da posição da cunha salina. Devido à diferença de densidades entre a água doce e a água salgada, ocorre uma estratificação entre elas, ficando a água doce por cima e a salgada por baixo. Essas águas se mantêm separadas, pois ambas se encontram em um meio poroso, onde a difusão dos solutos é muito lenta. Entretanto, existe uma zona de transição entre esses dois meios, denominada zona de mescla ou interface entre a água doce e salgada. Quando é realizado um bombeamento excessivo da água continental, o equilíbrio se rompe e ocorre o avanço da cunha, muitas vezes resultando em uma água salobra (ALMEIDA; SILVA, 2007; OLIVEIRA, 2016; BURGARDT, 2017).

Figura 4 - Representação de um aquífero costeiro e a cunha salina.



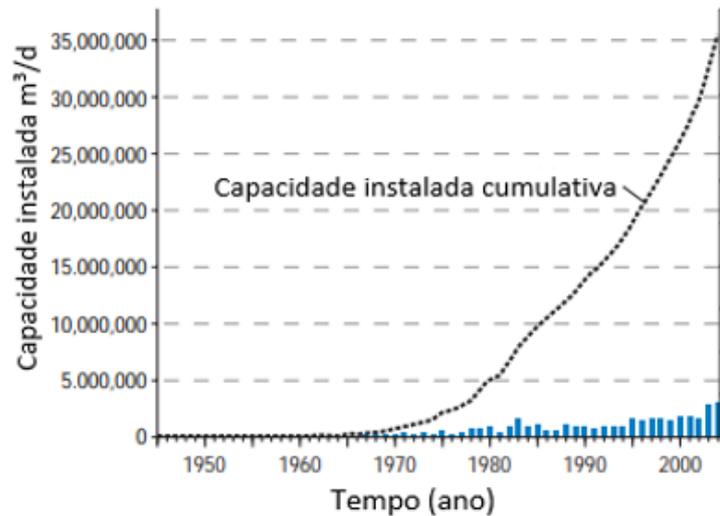
Fonte: Pearson (2005), apud Burgardt (2017).

2.3 DESSALINIZAÇÃO

Há muito tempo que a humanidade utiliza a técnica básica de dessalinização para produzir água doce, mas avanços nas pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos nessa área nos últimos 40 anos levaram ao aumento no uso da dessalinização em todo o mundo (ZANDER et al., 2008).

Tem-se alguns registros ou pegadas históricas da dessalinização. Richar Hawkins relatou que em 1662 durante a sua viagem pelos Mares do Sul ele supriu os seus homens a bordo com águas destiladas (ZANDER et al., 2008). Em 1790, o secretário de Estado dos Estados Unidos, Thomas Jefferson, recebeu um pedido para vender ao governo um método de destilação, que produz água doce a partir de água salgada. Em 1852, uma patente britânica de destilação foi emitida. Foi instalada na ilha de Curaçao, nas Antilhas Holandesas, a primeira estação de dessalinização que opera desde 1928. Em 1938, foi construída uma grande estação de dessalinização de água do mar onde hoje é a Arábia Saudita. Durante a segunda guerra mundial foi pesquisado o processo de dessalinização para atender às necessidades dos militares com água potável em regiões com pouca água, os Estados Unidos e outros países continuaram essas pesquisas depois da guerra (COOLEY et al., 2006). A água produzida pela dessalinização vem crescendo exponencialmente desde 1960, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Séries temporais de capacidade global de dessalinização até janeiro de 2005.

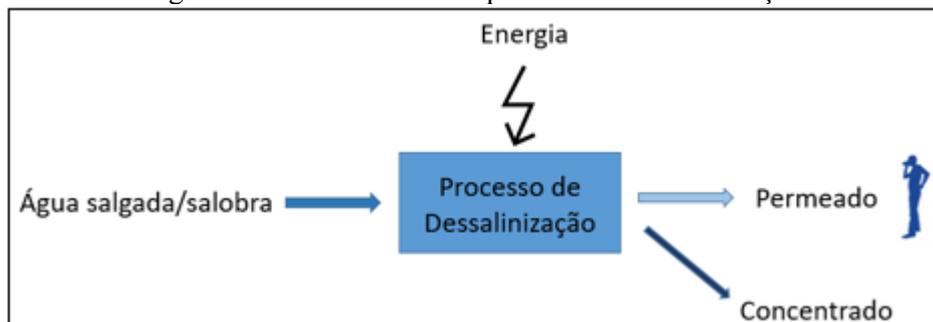


Fonte: Cooley et al., (2006).

De acordo com WHO (2017), o processo de dessalinização é utilizado para remover sal de águas superficiais e/ou subterrâneas salobra ou salgada, a fim de torná-las aceitáveis para o consumo humano ou outros usos.

Um processo de dessalinização separa a água salgada em duas correntes, uma corrente de água doce contendo uma baixa concentração de sais dissolvidos (permeado) e uma corrente de salmoura ou concentrado. O processo requer alguma forma de energia para dessalinizar e existem várias tecnologias diferentes de dessalinização (KHAWAJI et al., 2008). A Figura 6 apresenta os principais fluxos do processo.

Figura 6 - Fluxos básicos do processo de dessalinização.



Fonte: Adaptado de Santos (2005).

Apesar dos grandes avanços nas tecnologias de dessalinização, a dessalinização da água do mar ainda consome mais energia em comparação às tecnologias convencionais para o tratamento de água doce (ELIMELECH; PHILLIP, 2011). Devido aos altos custos de

dessalinização, muitos países não conseguem implementar essas tecnologias como recurso de água doce (KHAWAJI et al., 2008).

Segundo Mezher et al. (2011), os processos mais conhecidos e comercializados da dessalinização da água podem ser agrupados em dois grupos:

- Processos de dessalinização térmica;
- Processos de dessalinização por membrana.

2.3.1 Processos de dessalinização térmica

O processo de dessalinização térmica é assegurado por métodos de destilação, sendo comparado com o processo natural do ciclo hidrológico. A água de alimentação (água salgada) é aquecida até temperaturas de ebulição, evapora, e em seguida condensa e precipita sob a forma de água doce devido ao arrefecimento do vapor. Para que se tenha a evaporação, são necessárias altas temperaturas e deve-se assegurar a quantidade de energia necessária para manter o processo térmico. De forma a reduzir a quantidade de energia necessária no processo, alguns destes utilizam diversos estágios ou etapas. Desta forma, são feitas múltiplas ebulições de forma sucessiva, diminuindo a pressão nas operações seguintes para baixar o ponto de ebulição da água, assim, precisando de menor temperatura para evaporar a água (GAIO, 2016).

Entre alguns dos processos de dessalinização térmica, destacam-se a destilação de múltiplos estágios (MSF), a destilação de múltiplos efeitos (MED), a destilação compressão de vapor (VC) e a destilação solar (SD) (MOCOOCK, 2018).

Esses processos térmicos normalmente têm o custo de instalação alto e grande consumo de energia na sua operação, com exceção da destilação solar (SANTOS, 2005). Em alguns dos casos é possível aproveitar a energia do sistema para a cogeração, isto é, usando o vapor produzido a alta temperatura para produzir eletricidade e o vapor de baixa temperatura para acionar o processo de dessalinização térmica. Em contrapartida, o sistema pode liberar durante o processo gases não condensáveis como O₂, N₂ e CO₂ (GAIO, 2016).

Os países do Oriente Médio foram pioneiros no desenvolvimento e na implementação da dessalinização térmica da água do mar. Embora a dessalinização térmica tenha permanecido a principal tecnologia de escolha no Oriente Médio, os processos de membrana se desenvolveram e agora superam os processos térmicos no número de instalações. Os países do Oriente Médio continuam usando a dessalinização térmica devido

aos recursos de combustíveis fósseis facilmente acessíveis e à baixa qualidade da água local (GREENLEE et al., 2009).

2.3.2 Processos de dessalinização por membranas

De acordo com Sousa (2002), as tecnologias mais utilizadas no processo de dessalinização por membranas são: Eletrodiálise (ED) e Osmose Inversa (OI). Cada processo utiliza a capacidade das membranas de diferenciar e separar seletivamente sais e águas. Entretanto, as membranas são utilizadas diferentemente em cada um destes processos.

A dessalinização pela membrana é feita com uma membrana semipermeável com capacidade de filtrar os sais presentes na água, resultando em uma solução com baixa salinidade e um concentrado com elevada salinidade, quando é aplicado um gradiente de pressão ou uma diferença de potencial elétrico entre as superfícies das membranas (GAIO, 2016).

A eletrodiálise exige energia elétrica como uma força motriz, foi desenvolvida pela primeira vez para a dessalinização de soluções salinas, em particular água salobra, onde essa técnica tem a sua mais importante aplicação (SANTOS, 2016). Ao contrário da OI, na eletrodiálise a água passa pelas membranas e não através delas (SANTOS, 2005). A eletrodiálise não necessita de adição de nenhum reagente ou solução ao processo, dessa forma, implicando em custo mais acessível e menores riscos ambientais (KUNRATH et al., 2013). E segundo Mierzwa (1996), também possui vantagens como operação à pressão atmosférica e temperatura ambiente, e desvantagens como bloqueio da membrana quando tem presença de sólidos em suspensão ou compostos orgânicos em concentrações elevadas e também existe a possibilidade de ocorrer a eletrólise da água, com formação de hidrogênio e oxigênio, que são altamente reativos (MIERZWA, 1996).

O uso da dessalinização com membrana aumentou à medida que melhoravam a qualidade dos materiais e diminuía os custos. Hoje, a OI é a principal tecnologia para projetos de dessalinização (GREENLEE et al., 2009).

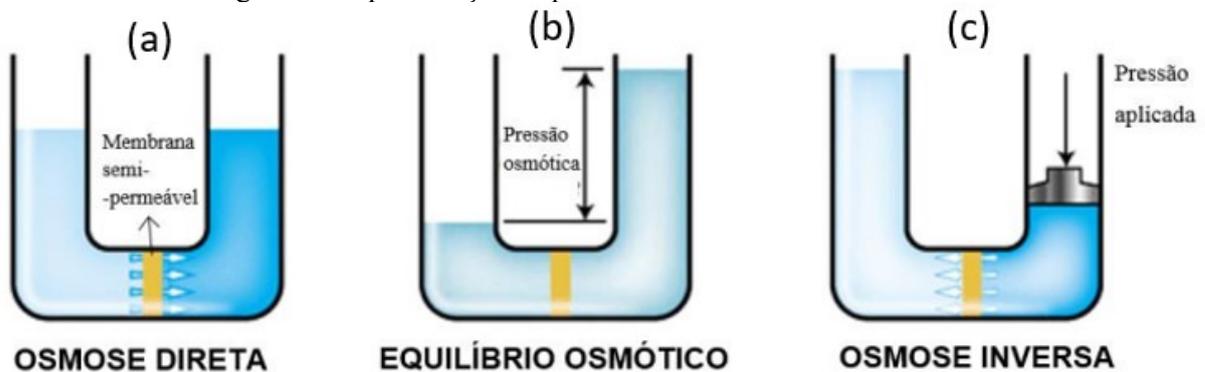
No Brasil se usa o processo de dessalinização por OI para dessalinizar as águas salobras em vários lugares do Nordeste, onde tem ajudado muitas famílias do meio rural que tinham problemas de abastecimento, como o extenso trajeto diário para adquirir água ou problemas com a qualidade de água encontrada nos locais (águas salobras) (BRASIL, 2012).

Também se usa esse processo para dessalinizar a água do mar, como é o caso das ilhas de Fernando de Noronha.

2.3.2.1 Osmose Inversa (OI)

A OI é conhecida desde o fim do século XIX. A palavra osmose vem do grego “*osmós*” e significa “impulso”. Nesse contexto, quando dois compartimentos, cada um contendo soluções com concentrações de sais diferentes, são separados por uma membrana semipermeável, ou seja, uma membrana cujos poros permitem a passagem de moléculas de água, mas impedem a passagem de outras moléculas (Figura 7.a), uma quantidade de água sairá da solução menos concentrada para a mais concentrada até que ambos os lados atinjam a mesma concentração (Figura 7.b). Este fenômeno é denominado de Osmose. A osmose é um processo essencial no controle da concentração de sais nas células de organismos vivos. Quanto maior for a diferença da concentração inicial entre os dois compartimentos, maior será a pressão criada que impedirá o transporte osmótico da água através da membrana denominada de Pressão Osmótica. Na osmose a solução menos concentrada perde o seu volume, enquanto a mais concentrada ganha. Aplicando uma pressão maior que a pressão osmótica, é possível inverter a direção do fluxo (Figura 7.c). A solução mais concentrada perde então seu volume, aumentando sua concentração. Assim, a solução diluída aumenta o seu volume, pois ela recebe água pura através da membrana. Este processo é chamado de Osmose Inversa (BRASIL, 2012).

Figura 7 - Representação do processo de osmose e osmose inversa.



Fonte: Gaio (2016).

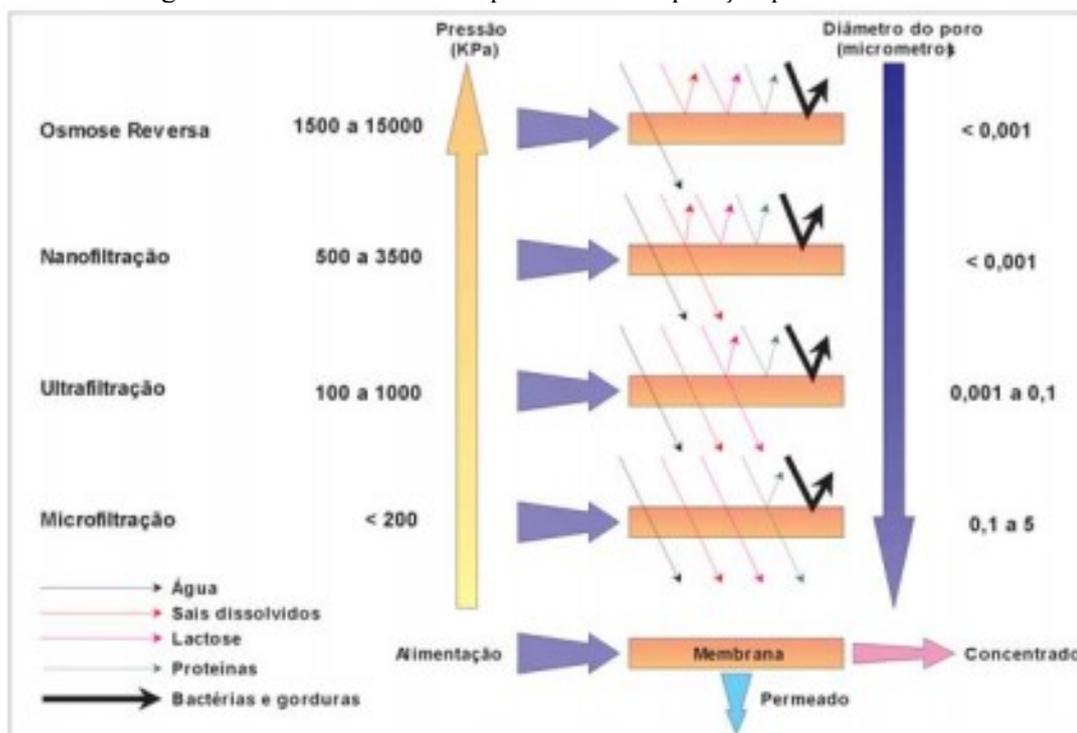
A OI é o nível final de processos de filtração disponíveis. A membrana de OI atua como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas com massa molar

acima de 100 g/mol. As moléculas de água, por outro lado, permeiam preferencialmente através da membrana (DOW LATIN AMERICA, 1996 apud BRASIL, 2012).

Na dessalinização com OI, a água salgada é pressurizada contra uma membrana semipermeável que permite que a água passe, mas retém o sal. A OI é a referência de comparação para qualquer nova tecnologia de dessalinização (ELIMELECH; PHILLIP, 2011).

Para que haja separação dos indesejáveis presentes na água, esses processos utilizam como força motriz a pressão hidráulica. As principais características desses processos estão apresentadas na Figura 8, em que para cada tipo de membrana está relacionada à pressão utilizada, os compostos removidos e o diâmetro médio dos poros.

Figura 8 - Características dos processos de separação por membranas.



Fonte: Mierzwa et al. (2008).

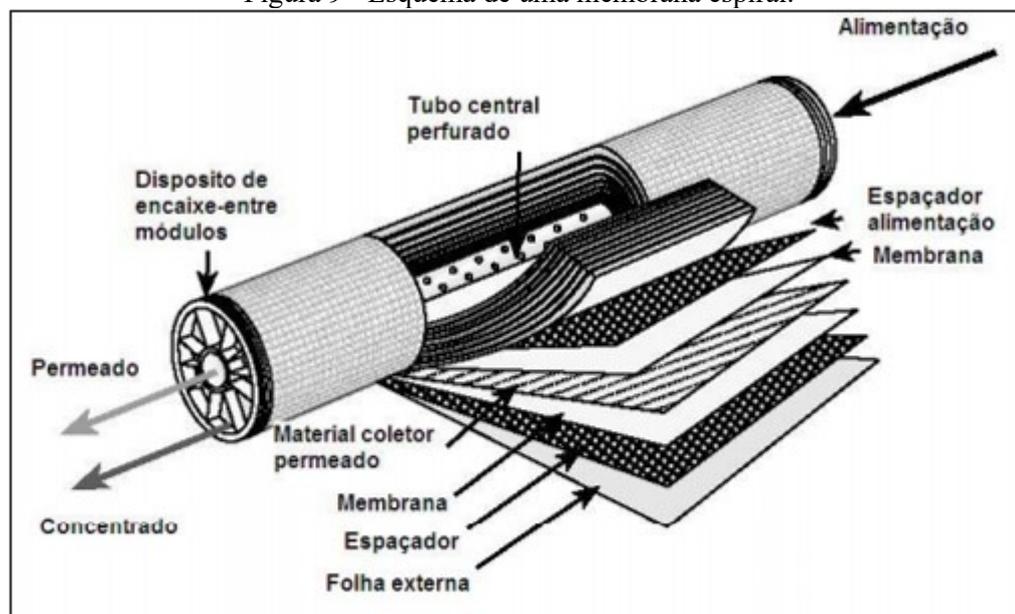
O tratamento de água pela OI é precedido pelo pré-tratamento, e a membrana de OI é normalmente em formato espiral e ao longo do tempo pode ocorrer a incrustação do mesmo, assim, é feita a Limpeza periodicamente.

2.3.2.2 Membrana de osmose inversa em Espiral

As membranas em espiral são constituídas por folhas planas de membranas enroladas em espiral, formando um cilindro. Na parte central desse cilindro há um tubo perfurado que permite a coleta do permeado. Nos processos de separação com membranas em espiral, o fluxo de filtração é paralelo à membrana (filtração tangencial), onde o fluxo de alimentação escoava paralelamente à superfície da membrana (TATEOKA, 2014).

Um fluxo irá atravessar a membrana tendo os contaminantes removidos, e é denominado permeado; o outro fluxo, denominado concentrado, conterá a maior parte desses contaminantes. O funcionamento da membrana em espiral ocorre através da entrada do fluxo de alimentação em uma das laterais do cilindro, no canal criado pelo espaçador. O permeado segue um caminho em espiral até atingir o tubo central coletor do permeado, já o concentrado não chega a esse tubo, pois não permeia através da membrana (TATEOKA, 2014). A Figura 9 apresenta uma membrana espiral e os seus componentes.

Figura 9 - Esquema de uma membrana espiral.



Fonte: Lautenschlager (2006).

2.3.2.3 Incrustações (Fouling)

Fouling ou incrustações é causada pela interação entre as superfícies das membranas e os materiais indesejados, e também dependem fortemente da morfologia e propriedades da superfície da membrana. Os incrustantes podem adsorver na superfície da membrana por meio

de interação hidrofóbica, ligação de hidrogênio, atração de van der Waals, interação eletrostática e várias propriedades da superfície da membrana, como hidrofilicidade, carga e rugosidade (ASADOLLAHI et al., 2017).

A eficiência e a produtividade dos processos em membrana são prejudicadas pela incrustação das membranas, com acúmulo de sujeiras orgânicas, inorgânicas ou biológicas na superfície da membrana e no interior dos poros da membrana, o que diminui o fluxo do permeado e a vida útil da membrana (XIE et al., 2017). A incrustação afeta o desempenho do sistema, o que resulta em um aumento na demanda de energia, da frequência de limpeza, do consumo de produtos químicos, na substituição de membranas e consequentemente no custo do tratamento da água (SIM et al., 2018). A incrustação é o principal fator de obstrução da membrana e pode ser manejada com o pré-tratamento e a limpeza da membrana.

No entanto, a incrustação da membrana da OI é inevitável porque o pré-tratamento não pode remover completamente todos os componentes, especialmente as bactérias (ZHENG et al., 2018).

Nesse contexto, incrustações (*fouling*) podem ser divididas em depósitos inorgânicos (*scalings*) e depósitos de material biológico (*biofouling*). Os depósitos inorgânicos (*scalings*) são sais normalmente solúveis na água que precipitam e se cristalizam na superfície e dentro dos poros das membranas, enquanto que, depósitos de material biológico (*biofouling*) é resultado da interação complexa entre o material da membrana, os parâmetros do processo (tais como substâncias dissolvidas, velocidade de alimentação, pressão, etc.) e os microrganismos, ou seja, basicamente é um problema de crescimento do biofilme na superfície da membrana (BRASIL, 2012).

2.3.2.4 Pré-tratamento para membrana de osmose inversa

De modo a escolher um pré-tratamento de maneira adequada, se deve avaliar a qualidade da água bruta e a qualidade necessária ao processo que se deseja utilizar. Assim, a escolha da tecnologia a se empregar deve ser feita cuidadosamente para que ela apresente resultados satisfatórios para a produção de água com qualidade, mesmo com a ação dos fatores externos que possam vir a ocorrer (BURGARDT, 2017).

Na dessalinização, o pré-tratamento da água bruta é uma etapa essencial de todos os sistemas de OI. A principal função desta etapa é remover os particulados, coloides,

componentes orgânicos, minerais e microbiológicos contidos na água do mar, assim, prevenindo a formação de *fouling* nas membranas (VOUTCHKOV, 2010; BURGARDT, 2017).

Quando se trata de águas de subsolo, geralmente estão biologicamente estabilizadas, ou seja, possuem baixas cargas de microrganismos formadores de biofilmes e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microrganismos. Estas águas podem ser bombeadas para os módulos de osmose sem pré-tratamento, mas para garantir a operação segura dos sistemas de membranas se faz a adição de anti-escalantes, correção do pH e pré-filtração através de filtros-cartucho de 5 μm (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

O pré-tratamento se divide em convencionais e não convencionais. Entre os pré-tratamentos convencionais para OI se tem as técnicas de filtração em meio granular, coagulação/floculação, flotação, adsorção, desinfecção e adição de anti-escalante, entre outras, e normalmente são combinadas. E entre os pré-tratamentos não convencionais para OI tem se usado mais membranas com poros maiores como microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração (ASADOLLAHI et al., 2017).

2.3.2.5 Limpeza da membrana

Os sistemas de tratamentos que utilizam membranas dependem da limpeza das mesmas periodicamente para a remoção das sujidades que se formam na superfície e, parcialmente, no interior da membrana. A limpeza da membrana pode ser física, por retrolavagem ou química, com a utilização de soluções ácidas e básicas (TATEOKA, 2014).

A limpeza física pela retrolavagem para membranas com fluxo tangencial, consiste no bombeamento do permeado em direção contrária à filtração. É um processo que dura entre 30 segundos a 1 minuto e o efluente da retrolavagem deve ser descartado. A retrolavagem permite a remoção da sujidade acumulada na superfície da membrana. Essa técnica é aplicada rotineiramente em membranas de microfiltração e ultrafiltração, já nas membranas de nanofiltração e osmose inversa, essa técnica é utilizada esporadicamente (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001; TATEOKA, 2014).

De acordo com Schneider e Tsutiya (2001), a função da limpeza química é a remoção de material não removível por processos de retrolavagem. Esses materiais podem incluir os seguintes componentes: óxidos de ferros, sedimentos, carvão, sílica, sais, géis de matéria orgânica e biofilmes microbianos.

Os sistemas de membranas, possui um sistema que permite a limpeza química periódica das membranas *in situ*, esse processo se chama *Clean in place* (CIP). As limpezas químicas ocorrem em intervalo de semanas a meses, dependendo da gravidade do problema de incrustações (*fouling*). Cada limpeza demora entre 45 minutos a 24 horas, dependendo da dificuldade de remoção do biofilme e/ou do material precipitado, e normalmente, restaura o fluxo das membranas para valores próximos do fluxo inicial. A aplicação de limpezas químicas, em intervalos adequados, impede o comprometimento irreversível da membrana e o crescimento excessivo de biofilmes. A limpeza química é feita quando os parâmetros de operação (fluxo ou pressão) atingem valores pré-determinados. Em sistemas de nanofiltração e osmose inversa, os ciclos são iniciados quando for atingido um dos seguintes parâmetros: diminuição do fluxo normalizado em cerca de 10%; aumento da pressão em 15%; e aumento da passagem de sais normalizada em 5% (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

A utilização de soluções ácidas é geralmente para a remoção de depósitos inorgânicos, já as soluções alcalinas, são para a remoção de depósitos orgânicos e biofilmes (TATEOKA, 2014).

2.3.2.6 Concentrado da dessalinização

Assim como mostra a Figura 6, o processo de dessalinização gera uma corrente de água doce, o permeado, e outra corrente que é o concentrado. De acordo com Mezher et al. (2011), a dessalinização pode causar danos consideráveis ao meio ambiente de várias maneiras, e uma delas é a descarga descontrolada de salmoura concentrada que pode contaminar os aquíferos aquáticos e danificar os ecossistemas aquáticos. A descarga de salmoura também pode conter produtos químicos de pré-tratamento, materiais de corrosão, contaminantes nucleares (se ligados a usinas nucleares) etc.

O processo de dessalinização por osmose inversa gera um resíduo ou concentrado, que quando não recebe nenhum tipo de tratamento e é lançado diretamente no solo, propicia o acúmulo de sais nas camadas superficiais, o qual pode ser lixiviado com as águas das chuvas, atingindo os aquíferos e causando salinização e sodicidade do solo (MENEZES; CAMPOS; COSTA, 2011; MATOS et al., 2014).

O processo de dessalinização pela OI tem rendimento teórico de aproximadamente 75%, com cerca de 25% da água bruta se tornando resíduos salinos (MENEZES; CAMPOS; COSTA, 2011).

Nesse contexto, procurando a valorização do concentrado, a Embrapa Semiárido desenvolveu um sistema de produção integrado onde visa o uso do concentrado do sistema de dessalinização, minimizando impactos ambientais e contribuindo para a segurança alimentar. Esse sistema utiliza os efluentes da dessalinização de águas subterrâneas salobras ou salinas em uma combinação de ações integradas de forma sustentável, na busca do fornecimento de água de boa qualidade. Esse sistema se dá na utilização do concentrado nos tanques de criação de peixes (*tilápias*) e em um outro momento é usado esse efluente (concentrado) dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, aproveitado para a irrigação da Erva-Sal (*Atriplex nummularia*) que, por sua vez, é utilizada na produção de feno, com teor proteico entre 14 e 18%, é utilizada para a engorda de caprinos, ovinos e/ou bovinos da região, fechando assim o sistema de produção integrado (BRASIL, 2012).

Várias pesquisas como Porto et al. (2001), Soares et al. (2006), Jordan et al. (2009), Santos et al. (2011) e Moura et al. (2016), apresentaram potencial do reuso do resíduo produzido pela técnica de OI, principalmente em relação à produção agrícola de espécies altamente tolerantes a grandes concentrações de sais.

2.4 LITOPENAEUS VANNAMEI E SEU CULTIVO

O camarão *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) é um crustáceo decápoda, pertencente à família *Penaeidae*. São cultivados na aquicultura no Brasil e no mundo, e são nativos do Oceano Pacífico. Essas espécies possuem excelente adaptabilidade às diversas condições de cultivo, assim como facilidade de manejo de cultivo e altas taxas de produtividade e rentabilidade, tornando assim, opção atrativa para produção em vários países. Em geral, os camarões se destacam entre produtos aquáticos pelo alto valor nutritivo, e uma importante fonte alternativa de proteína (GONÇALVES, 2010).

As estatísticas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) mostram que *L. vannamei* cultivado cresceu de forma recorde na história da carcinicultura marinha, tendo um bom desempenho em cativeiro e contribuiu para manter o camarão como a comódite que gera as maiores transações financeiras (US\$ 25,0 bilhões) no mercado mundial do pescado. A sua participação é da ordem de 46,5%, ou seja, quase metade do camarão consumido globalmente é o *L. vannamei* (ABCC, 2016). A capacidade de adaptação às mais variadas condições de

cultivo ajudou a levar o *L. vannamei* à posição de principal espécie da carcinicultura brasileira (GONÇALVES, 2010).

Em diversos países a tecnologia de bioflocos (BFT) vem possibilitando a produção do *L. vannamei* em áreas afastadas do mar. O interesse de cultivo no interior do Brasil vem crescendo, devido ao custo da salinização e balanço iônico da água para o cultivo do camarão, a grande maioria dos sistemas BFT tem mínima descarga e reposição de água, ou seja, são cultivos com descarga praticamente zero (KUBITZA, 2019).

Nas áreas interiores grande parte dos sistemas BFT com camarões são abastecidos com água de poços, mas é possível utilizar água de rios, lagos, chuva ou mesmo do abastecimento municipal. A salinização e balanceamento iônico das águas doces ou oligohalinas pode variar o custo desde R\$ 1,30 a 1,80/m³ a cada ppt de salinidade balanceada, isso dependendo da disponibilidade e preço local dos sais usados no balanceamento. Nos cultivos de *L. vannamei* em águas interiores geralmente a água é salinizada entre 3 a 15 ppt (KUBITZA, 2019). Ainda de acordo com Kubitza (2019), alguns produtores chegam a optar por uma salinidade de 25 ppt para reduzir o risco de toxidez por nitrito, um metabólito tóxico, especialmente em águas com salinidades baixas (<15 ppt).

As salinidades próximas a 25 é considerado ideal para o cultivo dessa espécie por ser próximo ao seu ponto isosmótico (PINHEIRO, 2021). Segundo Kubitza (2019), é recomendado que a salinidade não fique abaixo de 5 ppt nos cultivos intensivos em BFT, para minimizar problemas com o nitrito. A Tabela 1 apresenta a base de balanceamento iônico de uma água para o cultivo de camarões marinhos em diferentes salinidades. Na coluna 6 é apresentado um exemplo da composição iônica de uma fonte de água doce. Nas colunas 7, 8 e 9 são apresentadas as quantidades exatas de íons que a coluna 6 precisa.

Tabela 1 - Composição aproximada e relações iônicas da água do mar (Mar 35 ppt) como base para o balanceamento iônico de águas com diferentes metas de salinidade para o cultivo de *L. vannamei*.

Íons	Concentrações ideais (mg/l)				Adição necessária de íons (mg/l)			
	Mar 35				Fonte			
	ppt	3 ppt	5 ppt	10 ppt	de água	3 ppt	5 ppt	10 ppt
Cl ⁻	19.350	1.659	2.764	5.529	0,5	1.658	2.764	5.528
Na ⁺	10.760	922	1.537	3.074	0,0	922	1.537	3.074
SO ₄ ⁼	2.710	232	387	774	1,0	231	386	773
Mg ⁺²	1.290	111	184	369	23,0	88	161	346
Ca ⁺²	410	35	59	117	34,0	1	25	83
K ⁺	400	34	57	114	1,1	33	56	113
HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ⁼	140 – 160	> 150	> 150	> 150	70,2	80	80	80

Na:K	26,9	26,9	26,9	26,9	0,0
Mg:Ca	3,1	3,1	3,1	3,1	0,7
Cl:Na	1,8	1,8	1,8	1,8	500,0
Cl:K	48,4	48,4	48,4	48,4	0,5

Fonte: Kubitzka (2019).

2.5 TETRAGONIA TETRAGONIOIDES

Tetragonia tetragonoides (Pall.), conhecido como espinafre da Nova Zelândia, pertencente à família *Aizoaceae*. Produz plantas herbáceas, rastejantes, com folhas de coloração verde escura. Há um caule principal, ereto e curto, da base do qual surgem seis ou mais ramos laterais, radiais, que crescem horizontalmente. Produz frutos angulosos e espinhosos (denominada semente), que contém uma ou mais sementes (FIGUEIRA, 2003).

De acordo com Figueira (2003), pode ser cultivado em condições agroecológicas variadas, e também em ampla faixa termoclimática, porém, produz melhor sob temperaturas cálidas ou amenas. Pode ser plantada ao longo do ano e na maioria das regiões, exceto durante o inverno frio de regiões de elevada altitude. Produz em tipos diversificados de solo, tolerando a acidez, embora prospere melhor na faixa de pH 6,0 a 6,8.

O período da colheita se inicia aos 60 dias após a semeadura direta, ou aos 70 a 80 dias após a semeadura em sementeira. Cortam-se os ramos, de modo a deixar sempre uma haste, para que o crescimento vegetativo prossiga. Podem-se obter três cortes consecutivos, espaçados de 30 dias. Quando o frio não se torna limitante, as colheitas se prolongam por alguns meses (FIGUEIRA, 2003; ZÁRATE & VIEIRA, 2004).

Espinafre da Nova Zelândia é o tipo mais consumido no Brasil, devido à sua adaptabilidade ao clima tropical. A área cultivada no estado de São Paulo é de 652 ha, com produção de 10.160 t produtividade de 15.583 kg por hectare. O cultivo ocorre principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O espinafre é cultivado para o uso de suas folhas, que podem ser consumidas "*in natura*" ou transformados em produtos enlatados ou congelados. Destaca-se entre os vegetais por sua composição nutricional, com altos níveis de ferro, excelente fonte de vitaminas A e B2, além de fornecer cálcio, fósforo, potássio e magnésio (LODO et al., 2013).

Yousif et al. (2010), expuseram o espinafre da Nova Zelândia ao estresse salino por irrigação diária com solução de NaCl 0 mM (controle), 50 mM (2,925 g L⁻¹ de NaCl), 100 mM (5,850 g L⁻¹ de NaCl) e 200 mM (11,700 g L⁻¹ de NaCl) por 14 dias, e observaram que o

crescimento aumentou com a salinidade elevada, indicando que o espinafre da Nova Zelândia é halófilico. Também Atzori et al. (2020) estudaram o crescimento do espinafre da Nova Zelândia onde usaram 15 e 30% de água marinha na solução hidropônica alcançando condutividade elétrica de 9,8 e 18 dSm⁻¹, respectivamente, e o espinafre da Nova Zelândia mostrou ser promissor para cultivos com estes teores salinos.

2.6 SARCOCORNIA AMBIGUA

A *Sarcocornia ambigua* é uma planta da família *Amaranthaceae*, essas plantas são halófitas, ou seja, tolerante ao sal, por isso crescem em áreas salinas, geralmente perto da costa, ao longo das margens de lagos, manguezais e pântanos com concentração considerada de sal (KADEREIT; MUCINA; FREITAG, 2006). *Sarcocornia ambigua* é uma espécie perene amplamente distribuída na América do Sul de um gênero de pequenos arbustos halofíticos (ALONSO; CRESPO, 2008).

No Nordeste, no município de Aracati, verificou-se a viabilidade do cultivo da espécie de *Salicornia gaudichaudiana* (Mog.), agora conhecida como *Sarcocornia ambigua* (Michx.), a partir da irrigação com efluente do cultivo de camarão (COSTA, 2006; COSTA et al., 2014; BERTIN, 2014a).

O cultivo das plantas halófitas pode ter um retorno econômico para os produtores, como matéria verde para alimentação de rebanhos, ou mesmo para alimentação humana (BERTIN, 2014a). O cultivo de *Sarcocornia* irrigada com água salgada para produção de pastagem para rebanhos de ovinos e caprinos é largamente divulgado em países do oeste da Ásia e norte da África. *Sarcocornia* é utilizada para alimentação de galinhas na Arábia Saudita, ou mesmo de camarões no México, e também para a produção de suplementos alimentares e fármacos (COSTA, 2006).

O uso da espécie *Sarcocornia* como fonte vegetal para consumo humano é considerado promissor, dado seu alto valor nutricional em termos de minerais naturais e oligoelementos, incluindo magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cromo (Cr), fibra alimentar e compostos bioativos (BERTIN et al., 2016). Diferentes espécies de *Sarcocornia* são adequadas para a produção agrícola e recebem boa aceitação dos consumidores, principalmente quando estão jovens e são vendidas no mercado como 'sapphire' ou 'aspargos do mar' (BERTIN et al., 2014b).

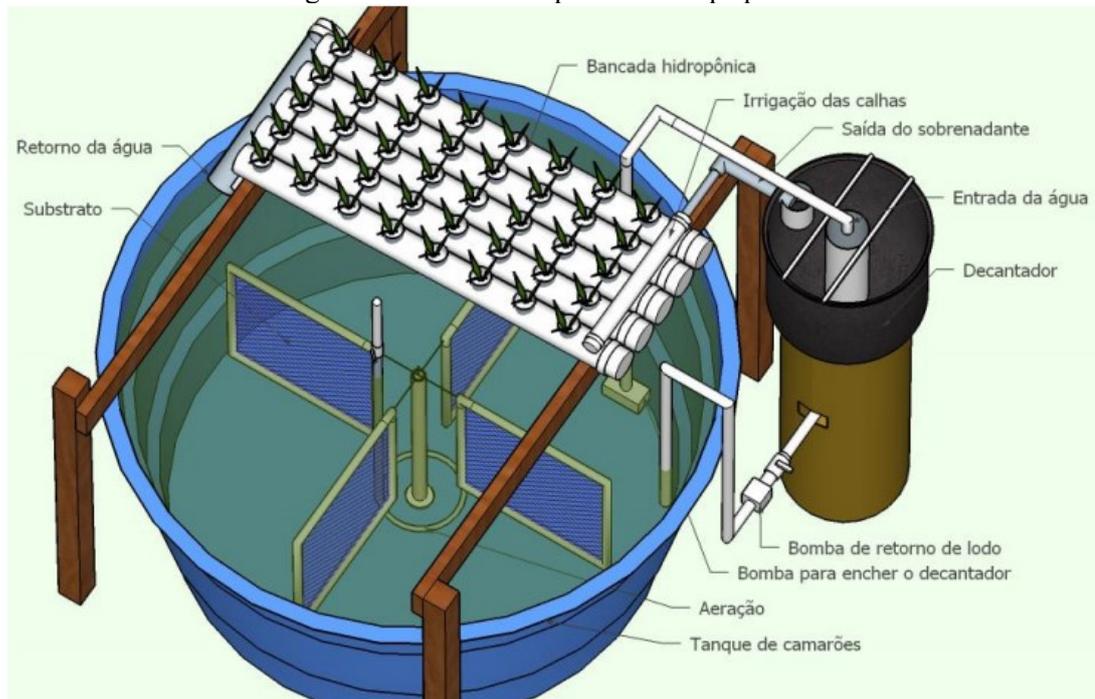
A conserva enlatada de *Sarcocornia perennis* mostrou alta aceitação pelos consumidores experimentais (TIMM et al., 2015; DONCATO; COSTA, 2017). Dias (2015), fala da pesquisa da Epagri do uso da *Sarcocornia perennis* para a produção de sal verde que contém três vezes menos cloreto de sódio que o sal comum de cozinha. Se o processamento da planta for encerrado antes de se obter o sal cristalizado, chega-se a um pó verde que também pode ser usado para salgar alimentos.

2.7 AQUAPONIA COM PLANTA SARCOCORNIA AMBIGUA E CAMARÃO LITOPENAEUS VANNAMEI

A aquaponia combina de forma integrada a produção hidropônica de plantas e a produção de peixes da aquicultura em um sistema agrícola sustentável, que utiliza ciclos biológicos naturais para fornecer nitrogênio e minimiza o uso de recursos não renováveis, proporcionando benefícios econômicos que podem aumentar com o tempo (TYSON et al., 2011; MEDINA et al., 2015; ZOU et al., 2015). Segundo Tyson et al. (2011), existem três tipos de sistemas aquapônicos mais usados que são: *media-based bed*, *floating raft*, *nutrient film technique* (NFT).

Pinheiro (2015), Silva (2016) e Soares (2017) realizaram pesquisas nas quais se avaliaram o cultivo da halófito *Sarcocornia ambigua* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia NFT com bioflocos microbianos, demonstrando a sua capacidade de cultivo. Pinheiro (2015) encontrou em *Sarcocornia ambigua* quantidades de compostos fenólicos e atividade antioxidante que a caracterizam como fonte promissora de antioxidante natural para o consumo humano. A Figura 10 apresenta a unidade experimental utilizado na pesquisa de Pinheiro (2015).

Figura 10 - Unidade experimental aquapônica.



Fonte: (PINHEIRO, 2015).

2.8 SAL

O cloreto de sódio (NaCl) mais comumente chamado de sal de cozinha é uma das substâncias mais abundante na natureza, principalmente por poder obtê-los a partir dos oceanos que constituem uma fonte praticamente inesgotável, e pelos depósitos à flor da terra, de jazidas subterrâneas, de fontes de salmouras naturais, de lagos salgados ou de mares interiores (MEDEIROS JÚNIOR, 2011). Mesmo assim, acredita-se que no tempo antigo não se tinha tanto acesso ao sal.

Segundo Mendes et al. (2012) e Norsal (2021), o sal vem sendo usado há muito tempo, os registros apontam para cinco mil anos. Era usado na Babilônia, no Egito, na China e em civilizações pré-colombianas, e acredita que nas civilizações mais antigas, apenas as populações costeiras tinham acesso ao sal e mesmo assim, acondicionadas por condições climáticas e períodos de elevação do nível do mar, que acarretavam períodos de escassez.

Antigamente o sal era considerado um produto escasso e precioso, por isso era vendido a peso de ouro, e muitas vezes usado como moeda de troca. Entre os exemplos históricos mais antigos, o mais conhecido figura o costume romano de pagar em sal parte da remuneração dos soldados, o que deu origem à palavra “salário”, derivada do termo em latim

“*salarium argentum*”, que significa pagamento em sal (MEDEIROS JÚNIOR, 2011; MENDES et al., 2012; NOSAL, 2021; SILVA, 2011).

O sal era muito utilizado como condimento na alimentação e conservante dos produtos como peixes, carnes e vegetais, contribuindo não só para a diversidade da alimentação, como também para outros domínios como a preparação de peles e conservação de couros (SILVA, 2011).

No Brasil, o sal já era disputado desde os tempos da Coroa. Portugal possuía várias salinas e, por isso, tratou de exportar o seu sal para as colônias, proibindo não só a extração local, como o aproveitamento das salinas naturais. Os brasileiros, que tinham acesso a sal gratuito e abundante, foram obrigados, no ano de 1655, a consumir o produto caro da metrópole. No final do século XVII, devido ao aumento da demanda do sal causado pela expansão da pecuária e a mineração de ouro, tornou incapaz de garantir o abastecimento, assim, a coroa permitiu o uso do sal brasileiro, mas desde que comercializado por contratadores. Em 1808, a sede do império português foi transferida para o Rio de Janeiro por D. João VI, quando foi ameaçado por Napoleão. A extração e o comércio de sal foram permitidos dentro do reino, mas continuava ainda a importação. Depois da independência começaram a funcionar as primeiras salinas artificiais no Brasil. Vestígios do monopólio salineiro ainda perduraram por todo o século XIX, e só foram completamente extintos depois da Proclamação da República (MENDES et al., 2012; NOSAL, 2021).

Hoje em dia, o sal oferece milhares de aplicações em diversas formas, o maior uso se dá na indústria química, onde, é utilizado na fabricação de cloro, soda cáustica, ácido clorídrico, vidro, alumínio, plásticos, têxteis, borracha, hidrogênio e celulose, entre outros itens. O sal também é largamente utilizado *in natura* na indústria alimentícia para preservação de alimentos, na alimentação humana e animal (MEDEIROS JÚNIOR, 2011).

O sal no seu estado puro apresenta 60.663% de cloro e 39.337% de sódio. Dependendo do fim para que vai ser utilizado, o sal pode ter forma de cristais de vários tamanhos e cor branca, cinzenta, avermelhada e acastanhada. Essa cor depende das impurezas presentes, dentro ou fora dos cristais. Para uso industriais, o cloreto de sódio deverá ser 100% puro, enquanto para uso domésticos e culinárias poderá ter algumas impurezas (MENDES et al., 2012).

De acordo com o decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975, o sal é classificado de acordo com a sua composição, como:

1. Sal comum, podendo ser:

- a) Sal tipo I;
 - b) Sal tipo II;
2. Sal refinado, podendo ser:
- a) Sal refinado, extra;
 - b) Sal refinado;
 - c) Sal refinado, úmido;

Ainda de acordo com às suas características granulométricas, são classificados como:

- Sal grosso (sem especificações granulométricas);
- Sal peneirado (retenção máxima de 5% na peneira nº 4 com 4,76 mm de abertura);
- Sal triturado (retenção máxima de 5% na peneira nº 7, com 2,83 mm de abertura);
- Sal moído (retenção máxima de 5% na peneira nº 18, com 1,00 mm de abertura);
- Sal refinado (retenção máxima de 5% na peneira nº 20, com 0,84 mm de abertura, e retenção de 90% na peneira nº 140 com 0,105mm de abertura).

O sal quanto a sua composição, deverá obedecer aos limites quantitativos fixados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas e químicas dos diferentes tipos de sal.

Tipo	Impurezas					NaCl (por diferença)	
	Valores Máximos					Valores mínimos	
	Umidade	Insolúveis	Cálcio	Magnésio	Sulfato	Base úmida	Base seca
Sal tipo I	2,500	0,100	0,070	0,050	0,210	96,95	99,45
Sal tipo II	3,000	0,200	0,140	0,080	0,420	95,99	98,98
Sal refinado extra	0,100	0,050	0,030	0,020	0,100	99,66	99,76
Sal refinado	0,200	0,100	0,100	0,100	0,400	98,92	99,12
Sal refinado úmido	4,000	0,096	0,095	0,095	0,382	95,16	99,12

Fonte: Adaptado do decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975.

De acordo com o decreto 75.697, de 6 de maio de 1975, e o decreto nº 80.583, de 20 de outubro de 1977, o sal para consumo humano e animal deve obedecer os seguintes critérios de qualidade: apresenta-se sob a forma de cristais brancos, com granulação uniforme, própria à respectiva classificação, devendo ser inodoro e ter sabor salino-salgado próprio; e estar isento de sujidade, microrganismos patogênicos e outras impurezas capazes de provocar alterações do alimento ou que indiquem emprego de uma tecnologia inadequada.

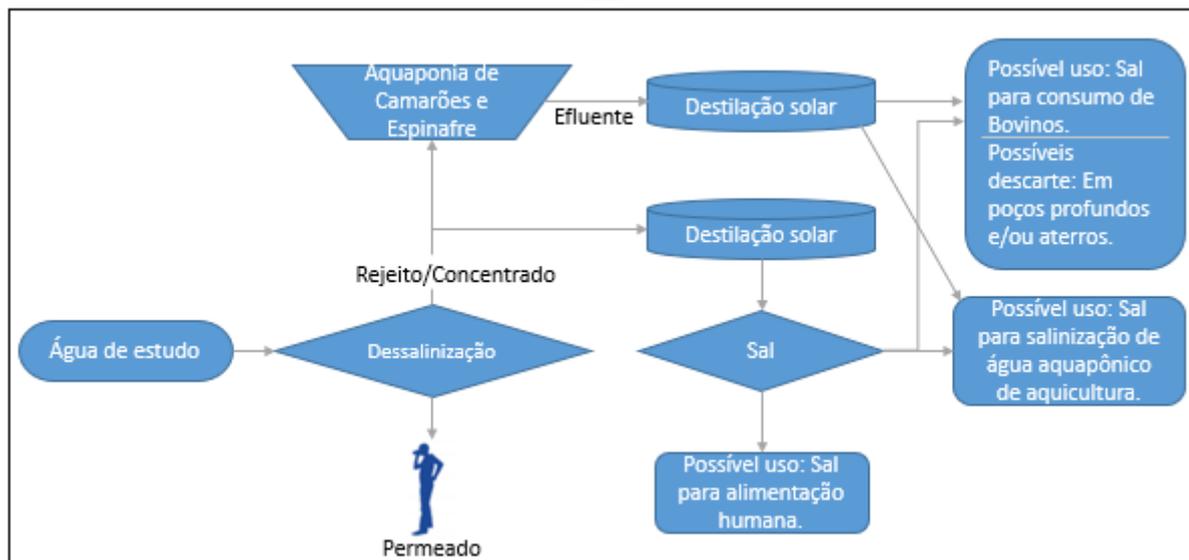
Nesse contexto, os brasileiros consomem, em média, 9,34g de sal por dia, quase o dobro do recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de 5g (KRAPP, 2019). Os bovinos tem necessidades de consumo de sal mineral que variam de acordo com o

estado do animal e o peso, mas de uma forma geral pode-se dizer que o consumo diário deve ser entre 80 a 100g, e o sal mineral pode ter os macrominerais: Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Sódio (Na), Cloro (Cl) e Potássio (K) e os microminerais: Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Iodo (I), Manganês (Mn), Flúor (F), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co), Selênio (Se), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Vanádio (V) e Silício (Si) (EMBRAPA, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se deu basicamente em duas etapas, que são: A dessalinização da água de estudo através da membrana de osmose inversa (OI), que em seguida foi usado o concentrado da dessalinização para a produção aquapônica de camarões *Litopenaeus vannamei* e espinafre da Nova Zelândia, avaliando a sua produção; e a produção dos sais do concentrado e do efluente do sistema aquapônico através da destilação solar, avaliando a sua capacidade de valorização. A Figura 11 mostra o fluxograma geral apresentando todas as possíveis valorizações ou usos do concentrado estudado. Esses usos promovem uma sustentabilidade do tratamento de água salobra pela OI, mesmo em locais distantes do mar, trazendo um conceito de economia circular para essa modalidade.

Figura 11 - Fluxograma geral da metodologia aplicada para a valorização do rejeito de membranas de OI.



Fonte: Do autor.

No Apêndice do trabalho segue algumas Figuras do experimento.

3.1 ÁGUA DE ESTUDO

As regiões agreste e sertão dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Bahia apresentam águas subterrâneas de teor salino comumente elevados variando entre 2 a 8 ppt (LIMA et al., 2008). Para fim dessa pesquisa foi adotado o teor salino da água de estudo a média desses valores, assim, resultando em 5 ppt.

O preparo da água de estudo (água salobra) foi feito a partir da diluição da água do mar com a água de abastecimento local até atingirem salinidade próxima de 5 ppt, e depois foram filtrados pela OI, ou seja, para atender a salinidade da água de estudo foi diluída 17% da água marinha (salinidade 30 ppt) com 83% da água da torneira.

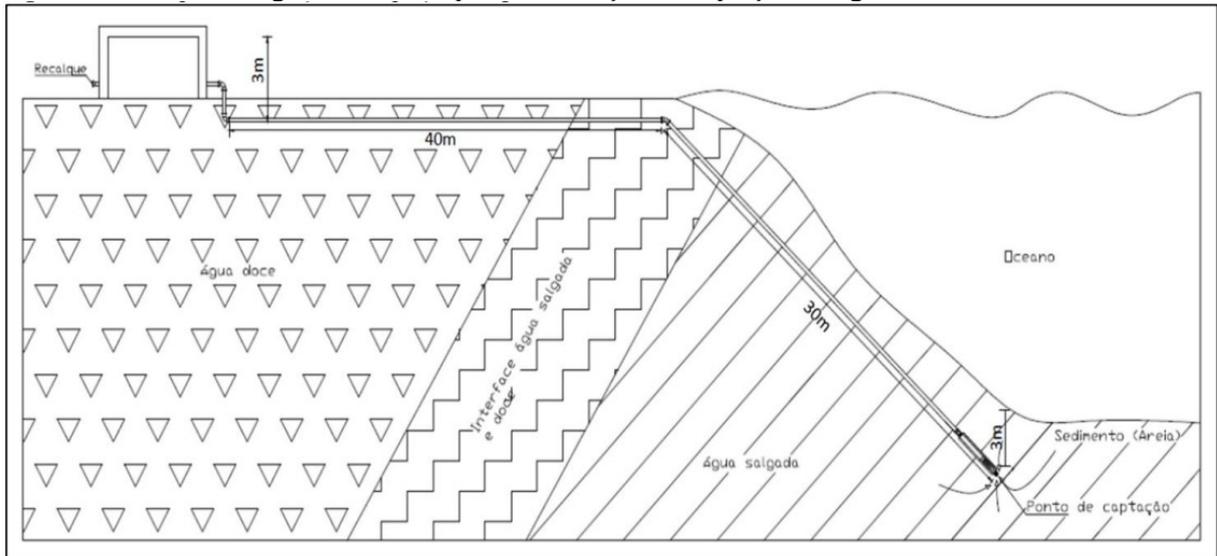
3.1.1 Coleta de água marinha

A coleta da água marinha usada na diluição era proveniente do mar na praia de Moçambique (Florianópolis/Brasil), e foi captada utilizando o sistema de captação do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Essa estação de captação tem por finalidade a captação de água salina para abastecer o LCM/UFSC, Estação de Maricultura da Barra da Lagoa e o Projeto TAMAR.

O sistema de captação conta com uma tubulação de sucção com 70 m de comprimento, sendo que 30 m desta tubulação se encontra dentro do mar. Possui uma casa de bombas e uma tubulação de recalque com 4.200 m de extensão. O sistema foi construído com tubulação de Policloreto de vinil (PVC) com diâmetro nominal (DN) de 160 mm para sucção e DN 200 mm para recalque. A sucção da água através das ponteiros é feita com auxílio de 4 bombas da marca Schneider com 4 cavalos (CV) de potência cada e revestimento em bronze, que operam recalcando em média 1000 m³/d. O sistema de filtração angular opera de maneira contínua e a quantidade de água a ser enviada para os laboratórios é definida conforme a necessidade de uso (BURGARDT, 2017). A vista do perfil do sistema de captação de água salina pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Vista perfil da estação de captação de água salina.

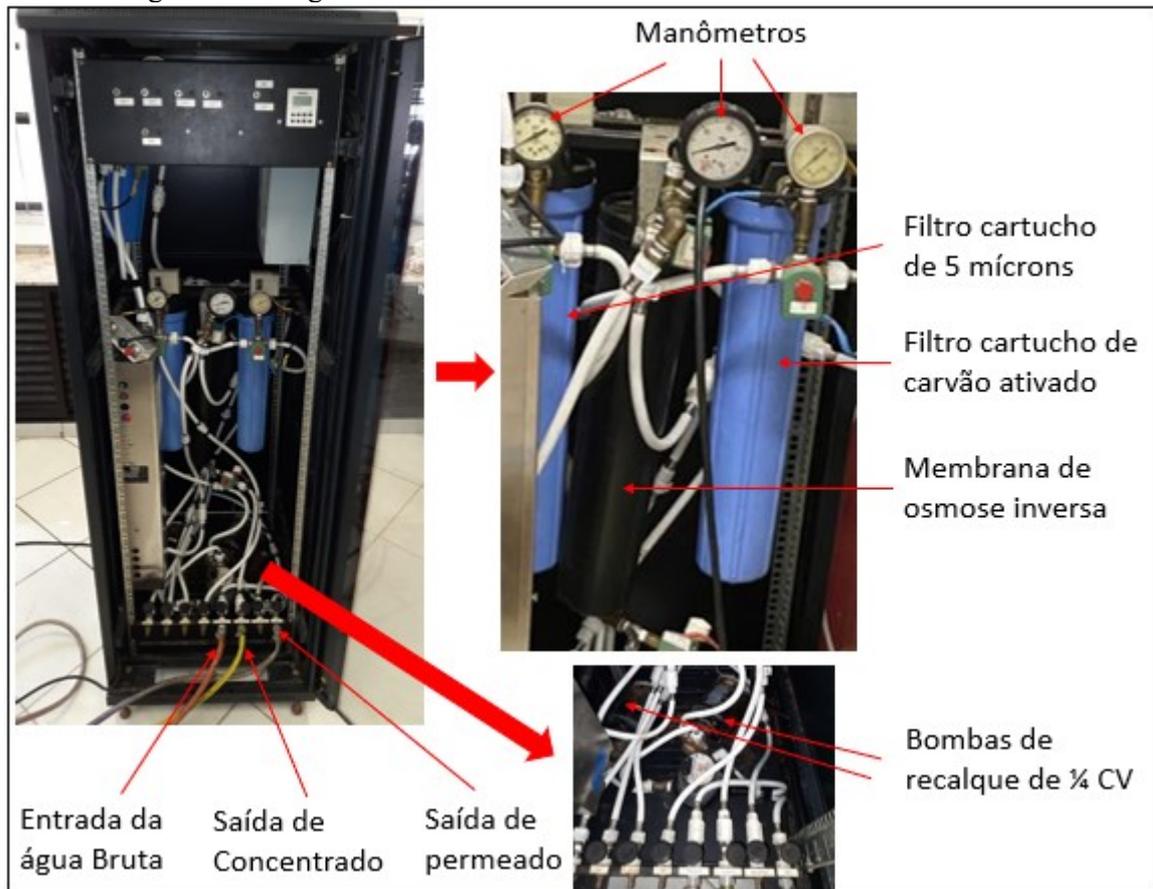


Fonte: Burgardt (2017).

3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PILOTO DA OSMOSE INVERSA E OS SEUS COMPONENTES

O sistema piloto de OI foi encomendado e construído especialmente para o Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da UFSC. Uma imagem real do sistema piloto pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 - Imagem real do Sistema Piloto de membranas de Osmose inversa.



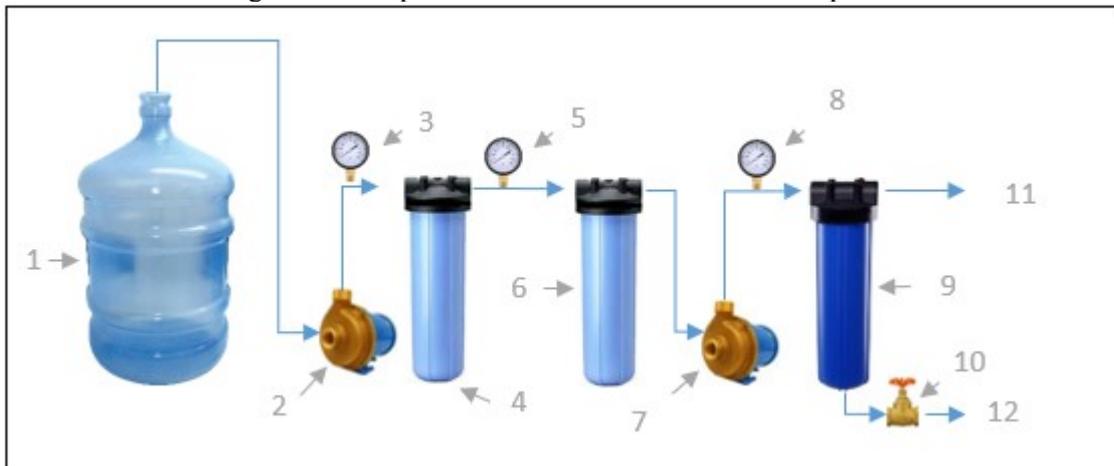
Fonte: Do autor.

O sistema piloto de OI dispõe de pré-tratamento de água de alimentação com um filtro cartucho de polipropileno 20" x 2 1/2" 5 micron, e um filtro de Cartucho de carvão ativado 20" x 2 1/2" 5 micron que tem a função de adaptar a água de alimentação à membrana de OI. Características da membrana de OI: Membrana de OI 3218 TMC HF (membrana espiral). Máxima pressão de operação 150 Psi. Fabricante: R. O. Ultratec. TMC – trimesoyl chloride.

De uma forma geral, seguindo o fluxo da Figura 14, primeiro foi preparada a água de estudo (1) e bombeada (2) para o filtro cartucho de 5 µm (4) e Filtro cartucho de carvão ativado (6) em série, passando pelos manômetros de pressões (3) e (5), e depois bombeada (7) para a membrana de OI (9) passando no manômetro de pressão (8), e assim, resultando em duas correntes de água na saída de OI, sendo uma corrente de permeado (11) que é a água tratada e a segunda corrente que é o concentrado (12). A válvula de registro (10) foi muito importante para controlar o fluxo da saída do concentrado, assim, podendo controlar a pressão do manômetro da OI (8), sendo mantido a pressão na OI em 150 psi durante todas as

operações. Durante a dessalinização, o permeado foi descartado e o concentrado foi recirculado duas vezes no sistema, assim simulando três filtrações em série, e resultando em um concentrado com volume menor e com salinidade mais alta.

Figura 14 - Esquema de funcionamento do sistema piloto.



Fonte: Do autor.

Legenda: 1 – Recipiente de alimentação; 2 – Bomba de recalque de $\frac{1}{4}$ CV; 3 – Manômetro; 4 – Filtro cartucho de 5 micron; 5 – Manômetro; 6 – Filtro cartucho de carvão ativado; 7 – Bomba de recalque de $\frac{1}{4}$ CV; 8 – Manômetro; 9 – Membrana de osmose inversa; 10 – Válvula de registro; 11 – Permeado; 12 – Concentrado.

3.3 MATERIAL BIOLÓGICO

Foi usado neste estudo camarão *Litopenaeus vannamei* com peso médio de 1,53 g (Figura 15) fornecidos pelo LCM/UFSC. Foram cultivados camarões pós-larvas no tanque berçário em sistema bioflocos microbianos até atingirem o peso necessário para o início do experimento com salinidade de 9 ppt, que foi a salinidade do início do experimento aquapônico.

As mudas de espinafre da Nova Zelândia (Figura 15) foram obtidas de um fornecedor local. Foram utilizadas no experimento 35 mudas e cada uma das mudas tinha em média 7 espinafres da Nova Zelândia com comprimento médio de 5 cm (desconsiderando o comprimento das raízes), cada espinafre tinha 5 folhas em média.

Figura 15 - Camarões *Litopenaeus vannamei* e espinafre da Nova Zelândia utilizados no início do experimento.



Fonte: Do autor.

3.4 SISTEMA PILOTO AQUAPÔNICO, CULTIVO DE BIOFLOCOS E MANEJO

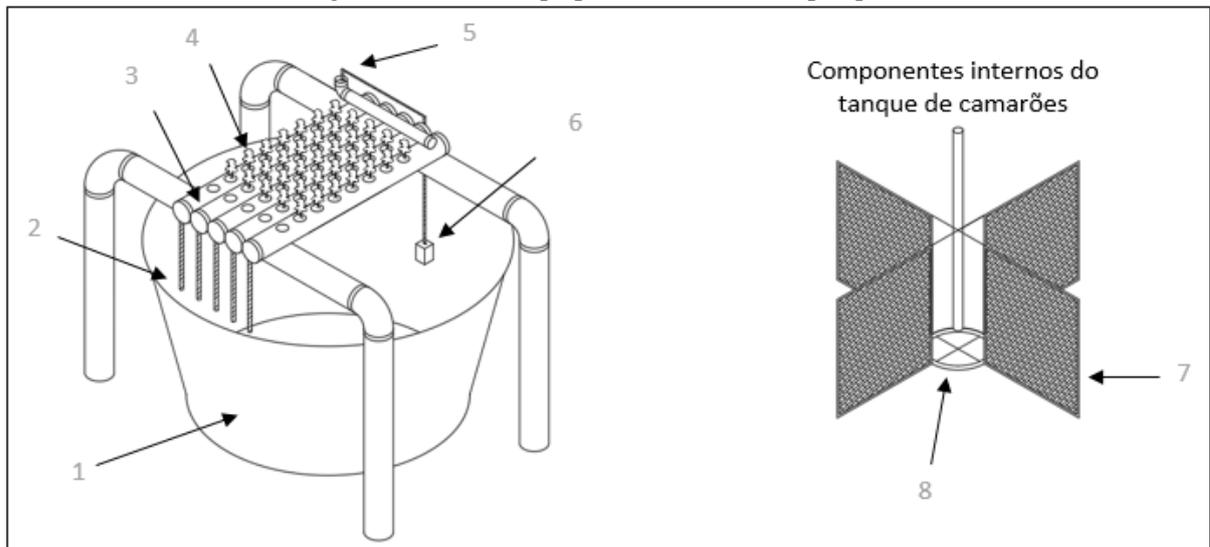
O sistema piloto aquapônico foi instalado no ENS da UFSC. O sistema piloto aquapônico experimental empregou a tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) (*Biofloc Technology*) e NFT (*Nutrient Film Technique*), cultivando espinafre da Nova Zelândia e o camarão *Litopenaeus vannamei*. O piloto consistia em um tanque de 1000 L, com 800 L de volume útil, com aquecimento, aeração, substratos artificiais e uma bancada hidropônica para as plantas. A água utilizada no sistema foi o concentrado de OI. O sistema piloto foi povoado com 200 camarões com peso médio de 1,53 g, com densidade inicial de 250 camarões por m³. O experimento começou com salinidade de 9 ppt, que era a salinidade do concentrado, e foi adotada a salinidade máxima de 12 ppt, que é a salinidade máxima usado no estudo de Yousif et al. (2010) com espinafre da Nova Zelândia.

A estrutura do piloto foi adaptada, montada e operada de acordo com Pinheiro et al. (2017) (Figura 16). Na bancada hidropônica para crescimento das plantas, os canais eram formados por cinco tubos de PVC de 75 mm de diâmetros e 1,10 m de comprimento,

dispostos lado a lado ficando 0,5 m acima do nível da água do tanque, com 4% de inclinação e em suportes de PVC com 60 mm de diâmetros. A bancada tinha 0,4 m² de área de plantio, foram usadas no experimento 35 mudas e cada muda tinha em média 7 espinafres da Nova Zelândia. Os espinafres foram transplantados no sistema na quarta semana do experimento, o qual continuou por 49 dias até o encerramento. Na sétima semana foram diminuídas as quantidades dos espinafres em todas as células da bancada hidropônica para 3 ou 4. Quando foi transplantado o espinafre no sistema, os camarões tinham peso médio de 5,82 g.

O piloto possuía 3 termostatos de 300 W (Termostato 300 w oceantech X5 220 v), 4 substratos artificiais de aproximadamente 0,33 m², um compressor de ar (ACQ 003 220 v) para a aeração do sistema, um Nobreak (Nobreak interactive sms 27395 station II 600 va) que garantia a continua aeração do sistema quando houvesse queda de energia, e uma bomba submersa de 1000 L/h (Sarlo 1000 220 v), que bombeava água do tanque continuamente para a bancada hidropônica e distribuía nos canais. Após irrigar as plantas, a água retornava ao tanque por gravidade. O tanque foi coberto com sombrite (50% de sombreamento).

Figura 16 - Piloto aquapônico utilizado na pesquisa.



Fonte: Do autor.

Legenda: 1 - Tanque de camarões; 2 - Canos de retorno da água; 3 - Bancada hidropônica; 4 - Espinafre da Nova Zelândia; 5 - Irrigação das calhas; 6 - Bomba de irrigação; 7 - Substrato artificial; 8 - Aeração.

No dia 1 foi dado início a preparação dos bioflocos, colocado 800 L de concentrado no piloto e feito a fertilização adicionando 126 g de ração e 30,8 g de açúcar (carbono orgânico) com o sistema aerando. O açúcar foi adicionado por 5 dias seguidos com o intuito

de começar o experimento com sólidos suspensos totais de 350 mg/L e controlar o valor da amônia. A instabilidade dos resultados da amônia no início da fertilização fez com que a adição de açúcar continuasse além dos 5 dias, e os cálculos das quantidades dos açúcares adicionados foram feitos de acordo com Avnmelech (1999). O povoamento dos camarões foi feito no dia 13 (a primeira semana do experimento começou a contar no dia do povoamento dos camarões). O biofoco não estava em estágio quimioautotrófico, portanto, não tinha o processo de nitrificação estabelecido, por isso, durante o experimento foi necessária a adição de açúcar para a manutenção dos parâmetros de qualidade de água (EMERENCIANO, 2017; HARGREAVES, 2013).

A alimentação era feita três vezes ao dia às 09:00, 13:00 e 17:00 com ração de 38% de proteína bruta. A quantidade de ração fornecida semanalmente foi calculada com base na tabela de alimentação proposta por Van wyk (1999). Semanalmente, 10% dos camarões eram pesados para ajustar a quantidade de ração. Após o povoamento dos camarões, a adição de açúcar era feita entre os intervalos de alimentação, pois poderiam diminuir a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água e afetar os camarões (EMERENCIANO, 2017). A adição de carbono orgânico (açúcar) era dividida em duas doses: as 11:00 e 15:00.

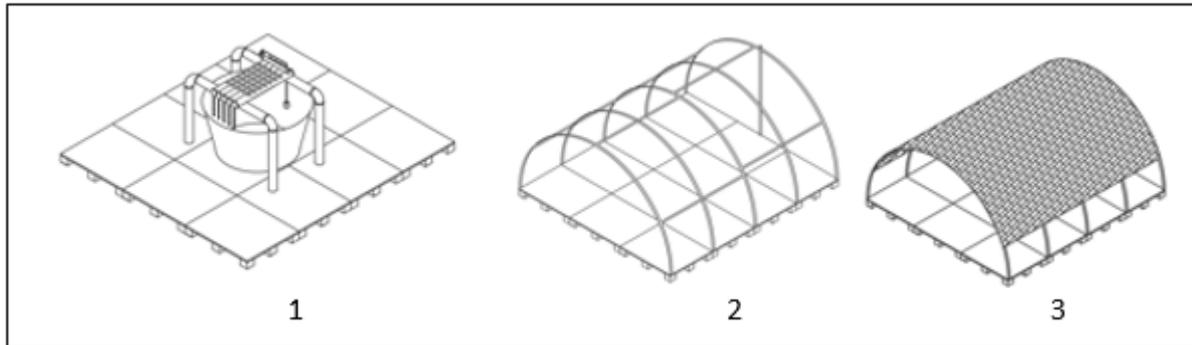
Também era feita a correção de alcalinidade sempre que preciso, adicionando Hidróxido de cálcio. Quando a alcalinidade era abaixo de 120 mg/L era adicionado numa proporção de 20% do ingresso diário de ração, quando se encontrava entre 120 e 150 mg/L era adicionado numa proporção de 10% do ingresso diário de ração, para manter a alcalinidade em concentração ideal e quando estava acima de 150 mg/L não era necessário à adição. Quando era colocado açúcar no sistema não se colocava hidróxido de cálcio, pois o açúcar já ajudava a corrigir a alcalinidade.

Durante o experimento foi retirado do sistema biofoco ou sólidos. Também foi adicionado concentrado e água da torneira para repor a água que evaporava, assim como, biofoco e sólidos que foram retirados, levando sempre em conta a salinidade máxima do sistema adotado de 12 ppt. O sistema piloto aquapônico não possuía sedimentador de sólidos, então para remover os sólidos do sistema foi retirada uma parcela de água e foram sedimentados os sólidos, e depois foi devolvida a água sem os sólidos para o sistema. O piloto operou por 11 semanas após o povoamento dos camarões.

Para acomodar o sistema piloto aquapônico foi construída uma estufa (Figura 17) com base de pallets de madeira, e a estrutura de tubos de PVC de 32 mm de diâmetros, e foi coberto com lona de plástico transparente e em cima da lona foi colocado uma sombrite

vermelha (Chromatinet vermelha 35% M2 - polysack) que modifica o espectro de luz solar pela maior quantidade de luz vermelha, que estimula o crescimento das mudas (HENRIQUE et al., 2011).

Figura 17 - Estufa: 1- apresenta a base de pallets com o sistema piloto aquapônico em cima; 2 – apresenta a estrutura de PVC fixados na base de pallets; 3 – apresenta a estufa completa com sombrite e aberturas nas laterais.



Fonte: Do autor.

3.5 ÍNDICES DO DESEMPENHO ZOOTÉCNICOS DOS CAMARÕES E FITOTÉCNICOS DO ESPINAFRE DA NOVA ZELÂNDIA

Foi avaliado tanto o desempenho zootécnico dos camarões como peso, biomassa, sobrevivência, quanto o desempenho fitotécnico do espinafre da Nova Zelândia como peso biomassa e comprimento.

Para calcular o peso médio inicial do espinafre da Nova Zelândia foram coletados 20 espinafres parecidos no tamanho com os que foram transplantados no sistema, e foram cortadas as raízes e pesadas e depois dividido por 20 chegando ao valor médio de 0,23 g. E para o cálculo da biomassa inicial foi multiplicado o peso médio inicial com as quantidades de espinafre deixado no sistema depois da 7ª semana. Nos cálculos de peso, biomassa e comprimentos foram retiradas ou desconsideradas as raízes dos espinafres.

3.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA AQUAPÔNICO

Para avaliar a qualidade da água do sistema piloto aquapônico foram realizadas duas análises diárias (manhã e tarde) de temperatura e OD. Também foram analisados duas vezes por semana a turbidez, cor verdadeira, pH, salinidade, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, absorvância 254 nm, ortofosfato, sulfato, nitrito, nitrato, alcalinidade e

sólidos suspenso totais. Também foi analisado todos os dias de manhã o nitrogênio amoniacal total (NAT).

As análises de sulfato, nitrito, nitrato e cloreto foram feitas com cromatografia Iônica (Cromatógrafo Dionex). As medições de sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, salinidade e temperatura foram feitas com medidor de condutividade portátil (marca: Akso; modelo: AK83). As demais análises foram feitas de acordo com Apha (2017).

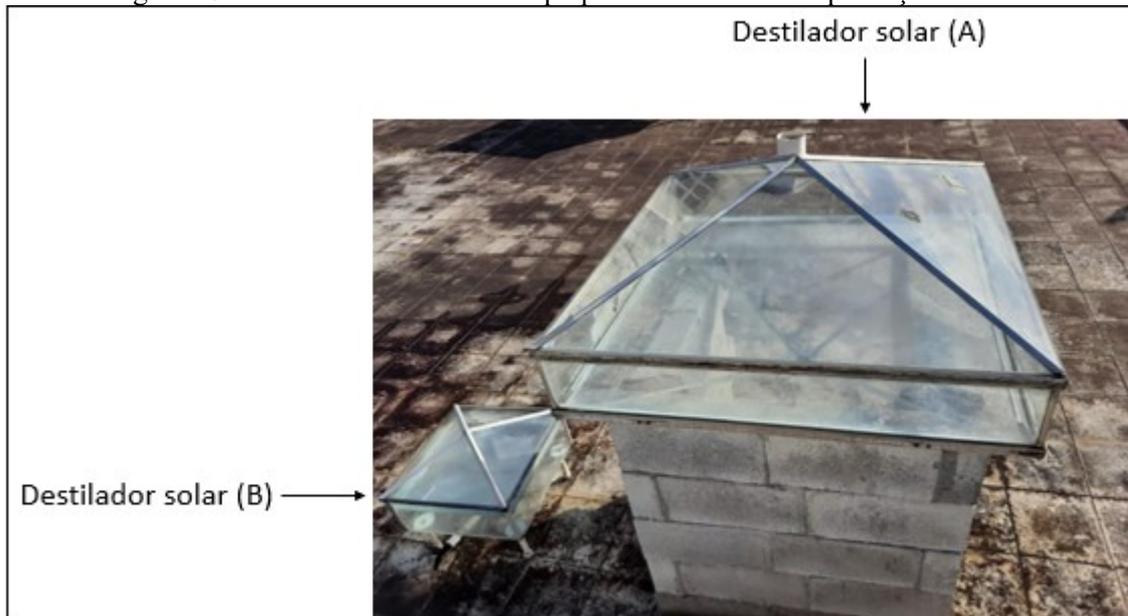
3.7 PRODUÇÃO DO SAL DO CONCENTRADO DA OSMOSE INVERSA E O SAL DO EFLUENTE DO SISTEMA AQUAPÔNICO

O sal do concentrado foi gerado evaporando o concentrado da OI através do destilador solar do tipo pirâmide, na forma quadrada em pirâmide de 1,02 m x 1,02 m de base, e ângulo da inclinação da cúpula 28,87°, composto de vidro em toda sua estrutura (pirâmide maior), apresentada na Figura 18 (A). Também foi usado destilador solar do tipo pirâmide, um protótipo em pequena escala, na forma quadrada em pirâmide de 0,43 m x 0,43 m de base, e ângulo da inclinação da cúpula 25°, composto de vidro em toda sua estrutura (pirâmide pequena), apresentada na Figura 18 (B). Foi destilado concentrado nas duas pirâmides produzindo sal. Tanto a pirâmide grande quanto a pirâmide pequena foram usadas no estudo de Silva (2014).

Para gerar sal do efluente do sistema aquapônico, foi usado o concentrado da OI em sistema aquapônico NFT (*Nutrient Film Technique*) com cultivo de camarão branco do pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e espinafre da Nova Zelândia (*Tetragonia tetragonoides*) em bioflocos microbianos (item 3.4). No final do experimento aquapônico, que durou 74 dias, foi coletado o efluente do sistema e deixado um dia em um recipiente para sedimentar os sólidos suspensos (bioflocos), depois foi evaporado através da pirâmide pequena, apresentada na Figura 18 (B). Foi destilado efluente do sistema aquapônico produzindo sal.

Optou-se em usar as pirâmides de destilação ao invés de evaporação direta, por ser a região do experimento muito chuvosa (Florianópolis).

Figura 18 - Destiladores solares do tipo pirâmides usados na produção de sais.



Fonte: Do autor.

3.8 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SAIS

Foi avaliado a qualidade do sal do concentrado da OI e do sal produzido do efluente do sistema aquapônico, através da verificação da ausência de sujidade (observação feita através do olho nu), microrganismos patogênicos e outras impurezas capazes de provocar alterações do alimento ou que coloca em causa à saúde humana, e também prejudiciais à alimentação animal, obedecendo os critérios do decreto 75.697, de 6 de maio de 1975 que aprova padrões de qualidade para o sal destinado ao consumo humano e do decreto nº 80.583, de 20 de outubro de 1977, que estabelece padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo animal e da outras providencias. Essas análises se encontram no item 3.9.2.

3.9 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DOS SAIS

3.9.1 Parâmetros de qualidade da água de estudo, concentrado e efluente de aquaponia

Para avaliar os parâmetros de qualidade de água do piloto de OI foram analisados a água de estudo e o concentrado. Foram analisados a cada uma hora de operação do piloto a temperatura, pH, turbidez, salinidade, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e OD, somando 32 análises da água de estudo e 16 do concentrado (para as análises do concentrado

foi considerado da segunda recirculação da filtração). Também foram analisados em triplicatas cor aparente, cor verdadeira, absorvância 254 nm, dureza, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês, ortofosfato, sódio, cloreto, potássio, sulfato, nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito, nitrato, alcalinidade e sólidos suspensos totais.

As análises do efluente da aquaponia foram feitas na última semana do experimento aquapônico. As análises de temperatura, pH, turbidez, salinidade, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, OD, absorvância 254 nm, ortofosfato, sulfato, nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito, nitrato, alcalinidade e sólidos suspensos totais foram feitas em dois dias na semana. Também foram analisados uma vez em triplicatas, cor verdadeira, dureza, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês, sódio, cloreto e potássio.

As análises de sulfato, nitrito, nitrato e cloreto foram feitas de acordo com cromatografia Iônica (Cromatógrafo Dionex). As medições de sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, salinidade e temperatura foram feitas com medidor de condutividade portátil (marca: Akso; modelo: AK83). As demais análises foram feitas de acordo com Apha (2017).

3.9.2 Parâmetros de qualidade do sal

Para avaliar a qualidade dos sais foram analisados a presença de microrganismos patogênicos e características físicas e químicas.

Para analisar a presença de microrganismos patogênicos nos sais foram analisadas bactérias *E. coli* e *Salmonella* seguindo a metodologia prevista no ISO 10705-1 (1995) e ISO 10705-2 (2000). Também foi analisado Colifagos somáticos PhiX e RNA F-específico MS2 de acordo com o método de duplo ágar de Adams (1959). Foram analisados coliformes totais e *E. coli* usando testes Colilert.

Para as análises físicas e químicas dos sais foram analisados umidade, resíduos insolúveis, cálcio, magnésio, cloreto de sódio (base úmida), coreto de sódio (base seca) e iodo seguindo a metodologia prevista no Instituto Adolfo Lutz (2008), e foi feita a análise de sulfato de acordo com Moraes (2020), e Pinto (2018), utilizando a fórmula:

- $\%SO_4^{2-} = (\%Ca^{2+} * 2,4) + (\%Mg^{2+} * 1,4)$

Todas as análises de sal foram feitas em triplicata e as análises das bactérias *E. coli* foram feitas por dois métodos diferentes de forma a confirmar os resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE ESTUDO, CONCENTRADO E EFLUENTE DA AQUAPONIA

Os resultados das análises físico-químicas da água de estudo, concentrado e do efluente da aquaponia podem ser observados na Tabela 3. Foi observado que a qualidade da água do concentrado era melhor do que a do efluente aquapônico. Dentre os parâmetros analisados, por exemplo a turbidez, podemos observar que foi de $0,21 \pm 0,03$ NTU e $110,60 \pm 12,40$ NTU, respectivamente, mostrando uma grande diferença entre o concentrado e o efluente da aquaponia.

Tabela 3 - Característica da água de estudo, concentrado e efluente da aquaponia.

Parâmetro	Água de estudo	Concentrado	Efluente da aquaponia
Temperatura (°C)	$25,78 \pm 0,79$	$28,38 \pm 0,85$	$27,86 \pm 0,57$
pH	$7,42 \pm 0,16$	$6,97 \pm 0,27$	$8,00 \pm 0,01$
Cor aparente (uH)	$10,67 \pm 1,41$	$1,33 \pm 0,47$	*
Cor verdadeira (uH)	$1,00 \pm 1,41$	$1,00 \pm 0,00$	$73,00 \pm 3,00$
Turbidez (NTU)	$1,38 \pm 0,87$	$0,21 \pm 0,03$	$110,60 \pm 12,40$
Absorbância 254 nm	$0,02 \pm 0,00$	$0,02 \pm 0,00$	$0,40 \pm 0,01$
Salinidade (ppt)	$4,77 \pm 0,12$	$9,01 \pm 0,26$	$11,55 \pm 0,15$
Sólidos dissolvidos totais (ppt)	$4,52 \pm 0,11$	$8,02 \pm 0,22$	$10,08 \pm 0,12$
Condutividade (mS/cm)	$9,04 \pm 0,25$	$16,02 \pm 0,43$	$20,16 \pm 0,24$
OD (mg/L)	$7,52 \pm 0,33$	$6,89 \pm 0,23$	$7,79 \pm 0,17$
Dureza (mg/L)	$1000,00 \pm 28,28$	$2000,00 \pm 32,66$	$2660,00 \pm 28,28$
Cálcio (mg/L)	$173,68 \pm 16,47$	$205,74 \pm 29,51$	$408,82 \pm 28,53$
Magnésio (mg/L)	$137,70 \pm 16,52$	$361,26 \pm 25,82$	$398,52 \pm 24,14$
Ferro (mg/L)	$0,51 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,02$
Zinco (mg/L)	$0,30 \pm 0,00$	$0,17 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,00$
Cobre (mg/L)	$0,05 \pm 0,00$	$0,08 \pm 0,00$	$0,10 \pm 0,01$
Manganês (mg/L)	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Ortofosfato (mg/L)	$0,00 \pm 0,00$	$0,45 \pm 0,11$	$1,50 \pm 1,04$
Sódio (mg/L)	$1393,67 \pm 21,69$	$2816,00 \pm 7,79$	$3582,50 \pm 110,64$
Cloreto (mg/L)	$1638,90 \pm 771,69$	$4006,66 \pm 446,33$	$5636,34 \pm 349,27$
Potássio (mg/L)	$96,83 \pm 8,34$	$163,83 \pm 0,24$	$211,17 \pm 5,44$
Sulfato (mg/L)	$209,51 \pm 95,49$	$574,58 \pm 87,75$	$865,91 \pm 88,50$
Nitrito (mg/L)	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Nitrato (mg/L)	$1,47 \pm 0,47$	$1,52 \pm 0,47$	$86,55 \pm 6,86$
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	$0,35 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,07$	$3,57 \pm 1,51$
Alcalinidade (mg/L)	$44,67 \pm 5,25$	$63,33 \pm 2,49$	$149,00 \pm 11,00$

Sólidos suspensos totais (mg/L)	72,00 ± 26,73	118,67 ± 1,89	697,00 ± 15,00
---------------------------------	---------------	---------------	----------------

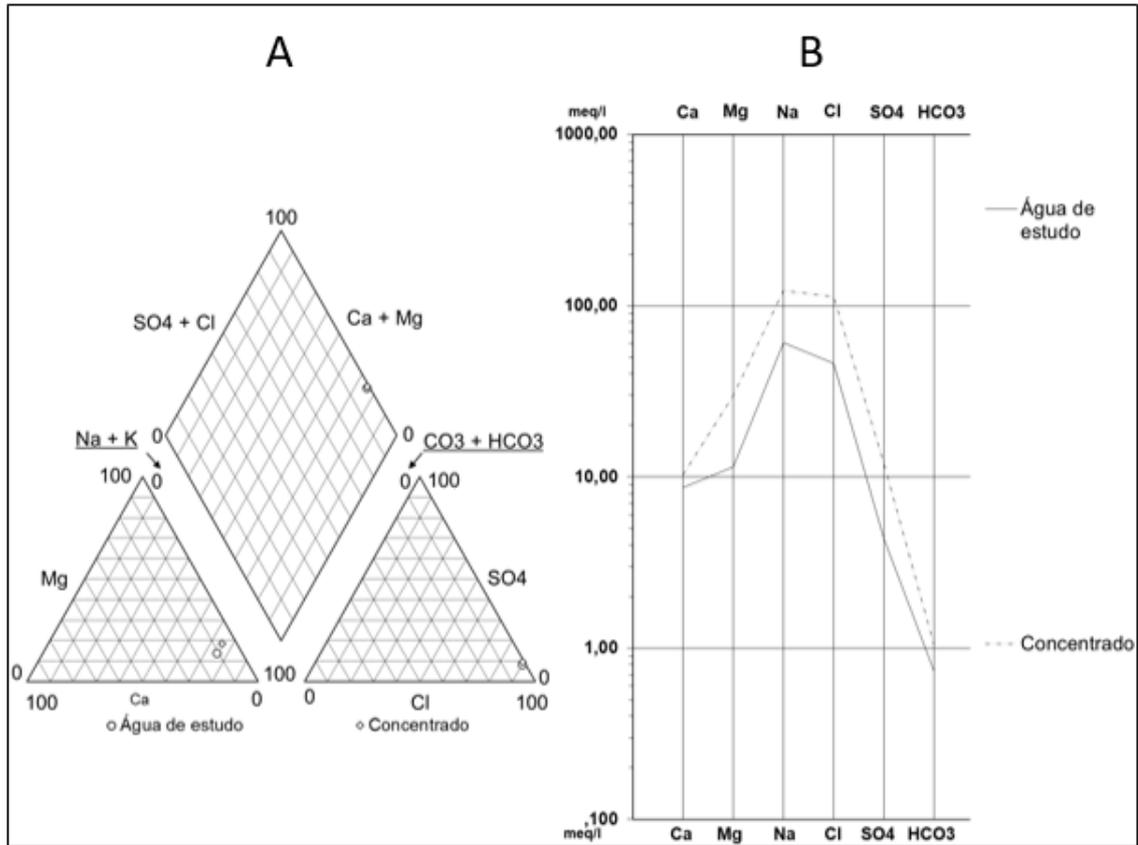
* Não foi analisado. Dados são média ± desvio padrão.

O sistema piloto de osmose inversa operava com 150 psi de pressão e com 2 recirculações do concentrado, assim, somando 3 fases de filtrações simulando um sistema em série. Foi possível observar que o concentrado da terceira fase de filtração era aproximadamente 40% da água bruta (água de estudo). No decorrer do experimento foi filtrado aproximadamente 4500 L de água de estudo e foi gerado aproximadamente 1800 L de concentrados.

A Figura 19 apresenta o diagrama de Shoeller e Berkloff (B), e através dele podemos ver as quantidades dos cátions e ânions em quantidades equivalentes, e assim, podendo ver o perfil e comparar a água de estudo e o concentrado. Eles apresentam perfis parecidos, pelo fato do concentrado ser parte da água de estudo com os constituintes em maiores concentrações, por causa da concentração que ocorreu na filtração pela Osmose Inversa (OI). A Figura 19 também apresenta o diagrama de Piper (A) onde apresenta que tanto a água de estudo quanto o concentrado são classificados como água cloretada sódica, podendo ser comparadas com as águas salobras subterrâneas do nordeste do Brasil.

De acordo com a classificação de Richards (1954), a água de estudo, o concentrado e o efluente do sistema aquapônico encontram-se classificados como C4S4 (Salinidade muito alta e Teor de sódio muito alto), que caracterizam impróprios para uso na irrigação.

Figura 19 - Diagrama de Piper (A) e diagrama de Shoeller e Berkaloff (B) da água de estudo e concentrado.



4.2 QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA PILOTO AQUAPÔNICO

Na Tabela 4 encontra-se os parâmetros da qualidade da água aplicada no cultivo de *L. vannamei* e espinafre da Nova Zelândia. A temperatura da água se manteve perto de 30 °C por causa do aquecedor. A temperatura, pH, turbidez, OD e alcalinidade se apresentaram dentro dos limites para o cultivo de *L. vannamei* em bioflocos, que de acordo com Emerenciano (2017) e Hargreaves (2013), a temperatura ideal se encontra entre 28 a 30°C, pH ideal entre 6,8 e 8,0, turbidez entre 75 e 150 NTU, OD acima de 4 mgL⁻¹ e alcalinidade entre 100 e 150 mgL⁻¹. A salinidade, sólidos dissolvidos totais e condutividade aumentaram ao longo do tempo, sendo que no dia do povoamento dos camarões os valores eram 9,9 ppt, 8,69 ppt e 17,53 mS/cm e no último dia do experimento os valores eram 11,4 ppt, 9,96 ppt 19,91 mS/cm, respectivamente. Isso provavelmente se deve a adição do concentrado no sistema para repor a água que evaporava, aumentando as suas concentrações.

Notou-se que não teve um acúmulo de ortofosfato, tendo um valor médio de 1,5 mg/L, diferente da pesquisa de Pinheiro (2021), esse baixo valor pode ser porque era um

sistema novo e por causa das remoções que são feitas pelas plantas, e também podem ter sedimentado com os sólidos no sistema e nas calhas da bancada hidropônica, e principalmente por causa das várias remoções de sólidos do sistema e pela troca de água que se deu. Buhmann et al., (2015) citam que 0,3 mg/L de PO₄-P é suficiente para o crescimento de várias espécies halófitas, portanto, os valores de ortofosfatos medidos no sistema são aceitáveis.

A absorvância 254 nm, no dia da povoação dos camarões com valor de 0,151 aumentou gradativamente até a semana 7 com valor de 0,520, e após a troca de parte de água do sistema na semana 8 baixou para 0,350 e no final do experimento registou 0,415. O aumento de absorvância 254 nm indica aumento da matéria orgânica no sistema (APHA, 2017). A cor verdadeira e a turbidez aumentaram ao longo do tempo com variação parecida com a Figura 20, indicando que esses aumentos se deram provavelmente pelo aumento de matéria orgânica e/ou sólidos suspensos totais.

Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água do sistema piloto aquapônico.

Parâmetros	Média ± Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	28,98 ± 1,08	26,60	31,50
pH	7,73 ± 0,30	7,02	8,27
Cor verdadeira (uH)	64,05 ± 17,51	25,00	97,00
Turbidez (NTU)	85,03 ± 30,17	5,30	136,00
Absorvância 254 nm	0,35 ± 0,10	0,15	0,52
Salinidade (ppt)	10,72 ± 0,49	9,90	11,70
Sólidos dissolvidos totais (ppt)	9,41 ± 0,42	8,69	10,20
Condutividade (mS/cm)	18,78 ± 0,79	17,53	20,40
OD (mg/L)	7,32 ± 0,47	5,42	8,38
Ortofosfato (mg/L)	1,50 ± 0,94	0,34	4,74
Sulfato (mg/L)	935,09 ± 174,50	731,08	1559,08
Nitrito (mg/L)	11,75 ± 17,84	0,00	68,62
Nitrato (mg/L)	36,64 ± 36,07	11,66	110,52
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	2,32 ± 1,38	0,08	5,57
Alcalinidade (mg/L)	129,00 ± 25,94	78,00	170,00
Sólidos suspensos totais (mg/L)	588,88 ± 107,71	410,00	792,00

A concentração de sólidos suspensos totais (SST) aumentou ao longo do tempo, chegou a registrar valor máximo de 792 mg L⁻¹, acredita-se que isso se deu principalmente pela adição de açúcar no sistema, que foi feita ao longo dessas semanas para o controlar a amônia. Segundo Avnimelech (2012) e Hargreaves (2013), a adição de fonte de carbono no sistema aumenta a concentração do SST e concentrações acima de 500 mg/L podem influenciar tanto a qualidade da água como o desempenho do camarão, sendo os níveis

recomendados entre 200 e 500 mg/L, e recomendado a retirada dos sólidos quando o nível está acima desses valores.

A Figura 20 apresenta a concentração de SST ao longo das semanas e a Figura 21 apresenta a reposição de água no sistema e a retirada de sólidos. Analisando as duas figuras podemos observar que foi feita a retirada de sólidos no sistema nas semanas 3, 4, 6, 7 e 11 na tentativa de baixar a concentração de SST que vinha aumentando gradualmente (como o sistema não possui o sedimentador a retirada de sólidos se dava retirando do sistema as quantidades de bioflocos apresentado na Figura 21, e depois da sedimentação dos sólidos era devolvida somente a água para o sistema). Nas semanas 8, 9 e 10 teve diminuição de SST porque foram retirados os bioflocos do sistema e adicionados concentrados para controlar o aumento de nitrito no sistema.

Observando a Figura 21, na primeira semana a adição de 40 litros de bioflocos foram os que vieram com os camarões para serem povoados no sistema. A reposição de água no sistema era feita quando baixava o nível de água no sistema, que se dava pela evaporação. No início eram feitas as reposições com concentrados, mas quando começou a aumentar a salinidade no sistema a reposição passou a ser feita com a água de abastecimento local (água da torneira). Dessa forma, deixando a salinidade do sistema abaixo de 12 ppt, que foi o valor adotado como máximo para espinafre da Nova Zelândia, baseando no valor máximo adotado na pesquisa de Yousif et al. (2010).

Figura 20 - Sólidos suspensos totais ao longo das semanas do experimento.

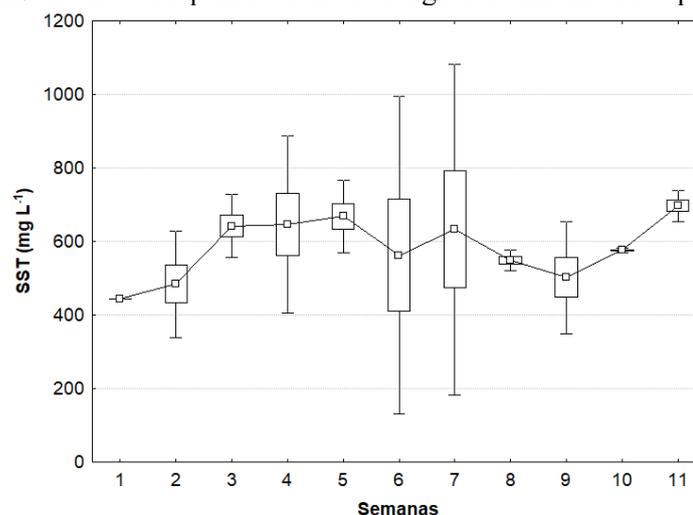
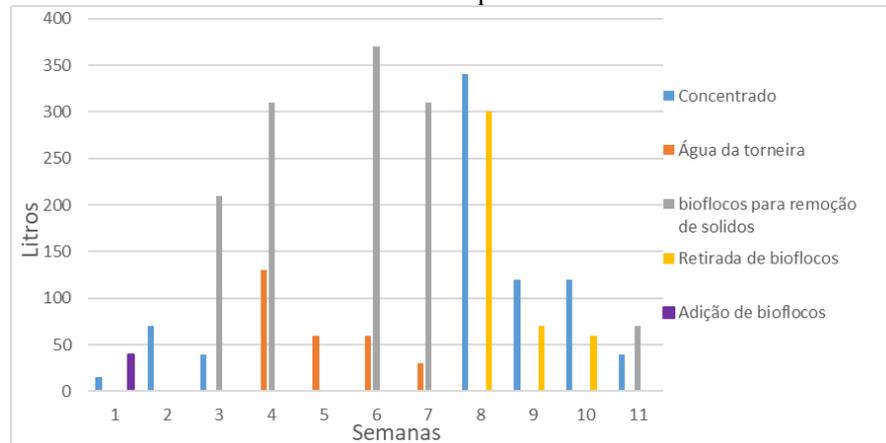


Figura 21 - Apresenta em quantidade a entrada e saída de água, concentrado e bioflocos ao longo das semanas do experimento.



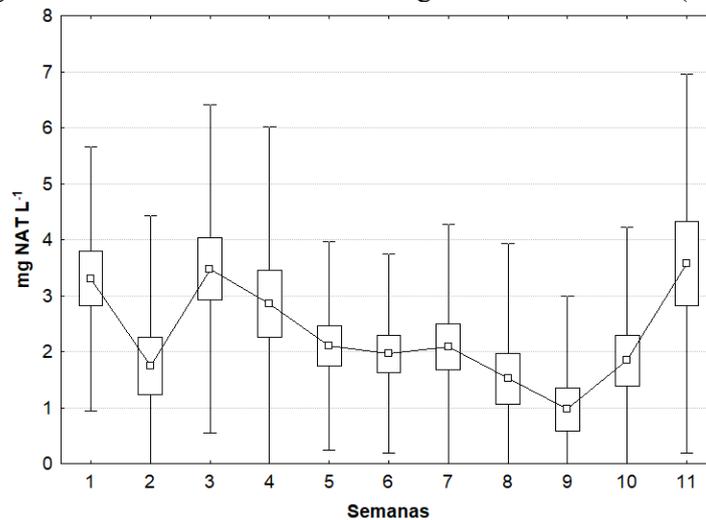
A Figura 22 apresenta os resultados de Nitrogênio Amoniaco Total (NAT) ao longo das semanas. As análises de NAT foram feitas diariamente, assim como o seu controle. Sempre que os valores eram superiores a 2 mg NAT /L era feita a fertilização colocando açúcar (fonte suplementar de carboidratos) no sistema. A amônia é altamente tóxica aos camarões, para *L. vannamei* em água com salinidade de 15 ppt, deve ser mantida em concentrações menores que 2,44 mg NAT /L (LIN; CHEN, 2001). A adição de fonte de carbono no sistema estimula o crescimento de bactérias heterotróficas que criam uma demanda por nitrogênio (como amônia), onde o carbono orgânico e o nitrogênio inorgânico são geralmente incorporados em uma proporção fixa nas células bacterianas, diminuindo a quantidade de amônia no sistema (EMERENCIANO, 2017; HARGREAVES, 2013).

As médias semanais de amônias diminuíram gradativamente da semana 4 à semana 9. Entre as semanas 8 e 10 foi colocado pouco açúcar no sistema, notou-se que os valores de amônia estavam estabilizando, indicando nitrificação pelas bactérias oxidantes de amônia (BOA) (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* e *Nitrosovibrio*) (PINHEIRO, 2021; MELO et al., 2016). Na última semana notou-se aumento nos valores de amônia. Essa instabilidade nos valores da amônia é normal quando se está no início de produção de bioflocos, exigindo uma alta relação C:N para fertilizar a água e garantir o crescimento de bactérias heterotróficas (PINHEIRO, 2021). Assim, a fertilização se torna necessária porque o crescimento de bactérias heterotróficas é mais rápido do que o das bactérias nitrificantes, podendo controlar mais rápido a amônia. O controle de amônia pela fertilização se dá geralmente, dentro de horas ou dias quando tiver carbono disponível suficiente (HARGREAVES, 2013).

No sistema de bioflocos existem três principais processos que controlam a amônia: assimilação fotoautotrófica pelas algas, assimilação pelas bactérias e nitrificação (HARGREAVES, 2013). Mas em sistemas de bioflocos aquapônicos ainda tem a remoção que é feita pelas plantas.

Os resultados de NAT registrados neste experimento foram mais altos do que os registrados em estudos de *L. vannamei* em aquaponia com *Sarcocornia ambigua* com bioflocos (CARNEIRO, 2019; PINHEIRO et al., 2017; PINHEIRO, 2021; SILVA, 2016; SOARES, 2017), provavelmente porque esses estudos começaram quando o bioflocos já estava em estágio quimioautotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido.

Figura 22 - Valores semanais de Nitrogênio amoniacal total (NAT).



Observa-se na Figura 23 que o nitrito não foi detectado nas semanas 1, 2 e 3 e da semana 4 até a semana 7 teve aumento elevado com valores chegando a 68,62 mg/L, isso se deve provavelmente à diminuição da quantidade de açúcar que era colocado no sistema, que favoreceu o desenvolvimento de bactérias quimioautotróficas, incluindo as nitrificantes, principalmente as bactérias que oxidam amônia em nitrito, geralmente se desenvolvem antes das bactérias oxidantes de nitrito (BON) (*Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* e *Nitrospina*), bactérias que oxidam nitrito em nitrato, assim, causando a acumulação de nitrito, sendo um dos grandes problemas quando se começa um novo sistema (PINHEIRO, 2021; MELO et al., 2016). Melo et al. (2016), mostram que as concentrações de nitrito influenciaram significativamente o peso final, a sobrevivência e a taxa de crescimento específico de *L. vannamei*. Segundo Sowers et al. (2004) apud Kubitzka (2019), concentrações menores que 5

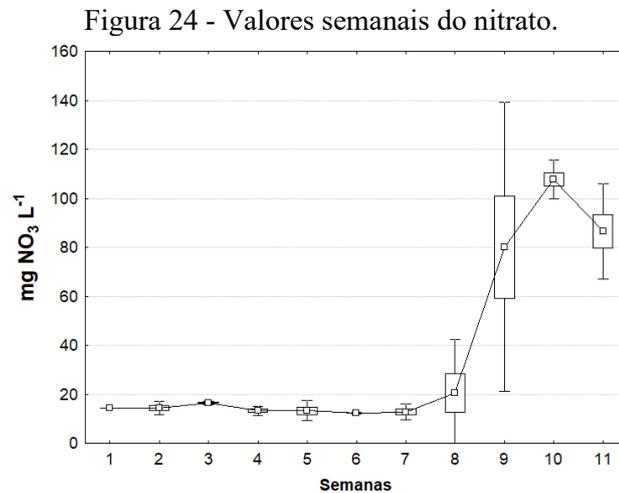
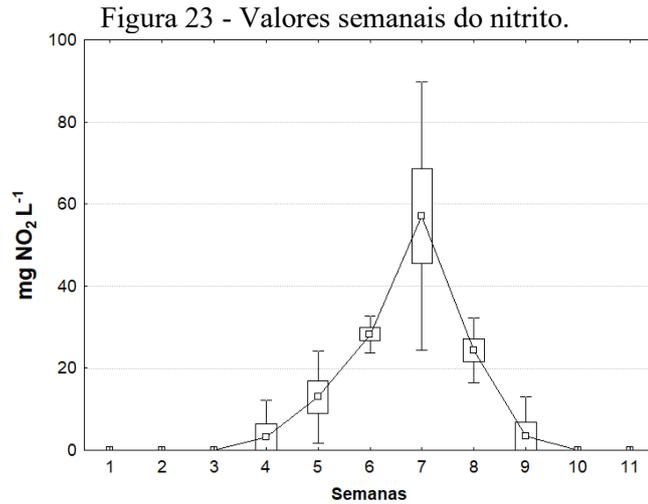
mg NO₂ L⁻¹ de nitrito são concentrações seguras para os *L. vannamei* para sistema com 10 ppt de salinidade. Entretanto, da semana 5 à semana 8 a concentração de nitrito estava acima de 5 mg/L.

Na Figura 21 observa-se que nas semanas 8, 9 e 10 foi retirado água do sistema, somando 430 litros e adicionado concentrado para controlar os altos valores de nitrito. Observando a Figura 23 podemos ver que o nitrito baixou, na semana 9 tendo valores satisfatórios (valor médio de $3,43 \pm 3,43$ mg NO₂ L⁻¹) e nas semanas 10 e 11 não foi detectado nitrito no sistema, indicando presença de bactérias oxidantes de nitrito (PINHEIRO, 2021; MELO et al., 2016). Na semana 8, para controlar o aumento do nitrito, além da troca de água foi parado a alimentação dos camarões até o nitrito ficar abaixo de 5 mg/L.

Analisando as Figuras 23 e 24 juntas podemos ver que na semana 8 começou a baixar o nitrito (semana 8 – $24,30 \pm 2,80$ mg NO₂ L⁻¹, semana 9 - $3,43 \pm 3,43$ mg NO₂ L⁻¹ e semana 10 e 11 - $0,00 \pm 0,00$ mg N-NO₂ L⁻¹) e a aumentar o nitrato indicando a nitrificação do nitrito em nitrato, e na semana 10 e 11 não foram detectados nitritos e tendo os valores mais altos de nitrato no sistema (semana 10 – $107,78 \pm 2,74$ mg NO₃ L⁻¹ e semana 11 – $86,55 \pm 6,86$ mg NO₃ L⁻¹). Segundo Prangnell et al. (2019), altas concentrações de nitritos em novos sistemas de bioflocos devem baixar para próximo de zero depois que as bactérias oxidantes de nitrito estejam estabelecidas, geralmente entre 6 a 8 semanas do início do cultivo.

Por outro lado, esse tempo de estabilização da comunidade quimioautotrófica pode ser encurtado, evitando esses picos de amônia e nitrito, utilizando um inóculo de bioflocos maduro com a nitrificação estabelecida de ciclos produtivos anteriores ou fertilizar a água no início do ciclo com sais de amônio e nitrito, para estimular o crescimento das bactérias nitrificantes (PINHEIRO, 2021).

Os resultados de nitrito registrados neste experimento foram mais altos do que os registrados em estudos de *L. vannamei* em aquaponia com *Sarcocornia ambigua* com bioflocos (CARNEIRO, 2019; PINHEIRO et al., 2017; PINHEIRO, 2021; SILVA, 2016; SOARES, 2017), provavelmente porque esses estudos começaram quando o biofloco já estava em estágio quimioautotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido.



4.3 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

Na Tabela 5 é possível ver o desempenho zootécnico de *L. vannamei*. O ganho de peso semanal foi de 1,36 g, valor próximo aos obtidos por Pinheiro (2021), que foi de 1,4 g para sistemas com salinidade de 8 ppt e 1,2 g para sistemas com salinidade de 16, 24 e 32 ppt. Em cultivos em sistema de bioflocos. A sobrevivência foi de 18%, valor abaixo do esperado. Vários estudos de *L. vannamei* em bioflocos em aquaponia com plantas apresentaram sobrevivência entre 50 a 90% como Carneiro (2019), Pinheiro et al. (2017), Pinheiro (2021), Silva (2016) e Soares (2017). Na Figura 25 podemos observar *L. vannamei* no último dia do experimento aquapônico.

Segundo Kubitza (2019), as iniciativas do cultivo intensivo de *L. vannamei* em sistemas BFT não estão alcançando os resultados esperados, com poucas exceções, sendo que os motivos principais são as altas taxas de mortalidade (sobrevivências entre 10 e 30% são

comuns) devido a enfermidades ou a problemas relacionados à qualidade da água, em especial quanto ao nitrito, principalmente em águas com salinidades abaixo de 15 ppt.

Tabela 5 - Desempenho zootécnico de *L. vannamei* cultivado em sistema aquapônico com bioflocos durante 74 dias com densidade de 250 camarões m⁻³.

Parâmetro	Média
Peso médio inicial	1,53
Peso médio final	14,57
Ganho de peso semanal (g)	1,36
Biomassa final (g)	524,49
Sobrevivência (%)	18

Figura 25 - *L. vannamei* no último dia do experimento aquapônico.



Na Tabela 6 podemos observar os valores do balanço iônico do concentrado, dos bioflocos quando teve um alto número de mortes dos camarões no sistema (amostra coletada no final da semana 7), amostras de um dia após ser feita a troca de água, no qual foi retirado 310 L de bioflocos e adicionados 340 L de concentrado (no início da semana 8), amostras do último dia do experimento (semana 11) e comparado com a proporção dos íons recomendado por Kubitzka (2019), onde o autor apresenta as quantidades na água do mar (35 ppt) e estipula as quantidades que deveriam ser adotadas para água salobra de 10 ppt. Assim, podemos ver que o balanço iônico do sistema piloto aquapônico teve valores das proporções dos íons parecidos com os recomendados. Vendo os valores do concentrado e das outras amostras do sistema, podemos observar aumento desses íons, que pode ser por causa da evaporação e a reposição com concentrado que aconteceu ao longo do experimento, aumentando as suas concentrações.

Tabela 6 - Concentrações dos íons do balanço iônico do concentrado usado no experimento e do sistema piloto aquapônico na semana 7 (quando teve alta nas mortes dos camarões), semana 8 (quando foi feita troca de parte de bioflocos com concentrado), semana 11 (último dia do experimento) e comparando com as proporções de concentrações de água do mar e para proporção estimada para 10 ppt segundo Kubitzka (2019).

Íons (mg/L)	Amostras de bioflocos			Concentrações ideais		
	Concentrado	Semana 7	Semana 8	Semana 11	10 ppt	Mar 35 ppt
Cloreto (Cl ⁻)	4006,66	5370,00	4914,82	5636,35	5529,00	19350
Sódio (Na)	2816,00	3020,50	3036,67	3582,50	3074,00	10760
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	574,58	722,84	665,86	865,91	774,00	2710
magnésio (Mg)	361,26	403,38	379,08	398,52	369,00	1290
Cálcio (Ca)	205,74	259,18	296,59	408,82	117,00	410
Potássio (K)	163,83	187,67	184,83	211,17	114,00	400
Dureza	2000,00	2306,67	2300,00	2660,00		
Na:K	17,19	16,10	16,43	16,97	26,96	26,90
Mg:Ca	1,76	1,56	1,28	0,97	3,15	3,15
Cl:Na	1,42	1,78	1,62	1,57	1,80	1,80
Cl:K	24,46	28,61	26,59	26,69	48,50	48,38

Acredita-se que tanto a baixa salinidade quanto os altos valores de nitritos estão relacionados com a baixa sobrevivência dos camarões. A baixa salinidade do sistema teve uma relação direta com composição mineral da água. No estudo de Pinheiro (2021), observou-se que a salinidade afetou a sobrevivência do camarão, uma relação direta foi encontrada entre a redução da salinidade e o aumento na mortalidade do camarão, onde foram cultivados camarões com salinidade de 8, 16, 24 e 32 e tiveram sobrevivências de $56,3 \pm 4,7$, $83,3 \pm 1,2$, $82,6 \pm 4,3$ e $84,0 \pm 4,0$ respectivamente, Maicá et al. (2012), observaram o mesmo comportamento. Ainda de acordo com Pinheiro (2021), embora seja uma espécie eurialina, para garantir sobrevivência e crescimento satisfatórios de *L. vannamei* em baixa salinidade as proporções de íons como sódio, potássio e magnésio devem ser próximas àquelas encontradas na água do mar. Segundo Galkanda-Arachchige et al. (2021) o balanço iônico é importante na fase de muda do camarão, quando o animal não consegue trocar a carapaça adequadamente fica mais susceptível a enfermidades e ao estresse, principalmente o estresse causado pelos picos de nitrito.

O baixo valor de sobrevivência se deu por causa dos altos valores de nitritos registrados da semana 5 a semana 8 (Figura 23), que em altas quantidades são tóxicos para os camarões (AVNIMELECH, 2012; EMERENCIANO, 2017). Na Figura 26 e 27 podemos observar a relação direta da morte dos camarões registrado e o aumento do nitrito no sistema, assim, mostrando que quando se deu os maiores valores de nitritos também teve os maiores

números de mortes registrados, assim, como apresenta a semana 7. As medidas para conter o aumento de nitrito foram um pouco tardias por causa da morosidade na produção de concentrados em quantidades suficientes para troca de parte da água no sistema, que poderiam evitar algumas mortes. Uma forma de evitar a morte dos camarões por causa dos nitritos no sistema BFT seria trabalhar com salinidade maior (KUBITZA, 2019). De acordo com Pinheiro (2021), foi observado através da interpolação dos dados do experimento a maior sobrevivência de *L. vannamei* na salinidade 25,7 ppt.

No início do experimento, após povoamento dos camarões, teve um alto número de mortes também, isso se deve provavelmente ao estresse que os camarões foram submetidos por causa do transporte dos camarões do LCM até o ENS à 15,1 Km de distância, e o período de aclimação onde os mais frágeis acabam morrendo.

Figura 26 - Média dos nitritos semanais registrados nas semanas 4 a 9.

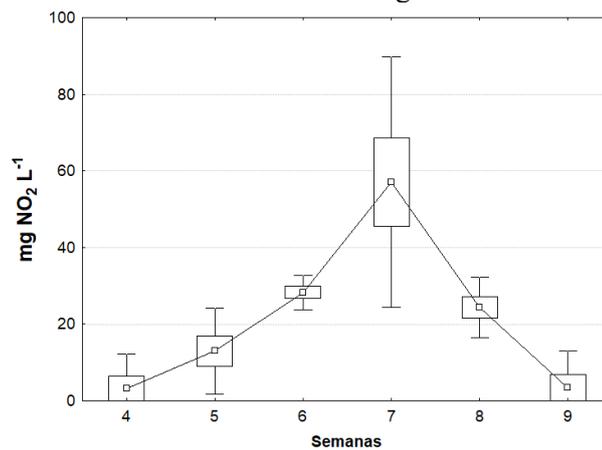
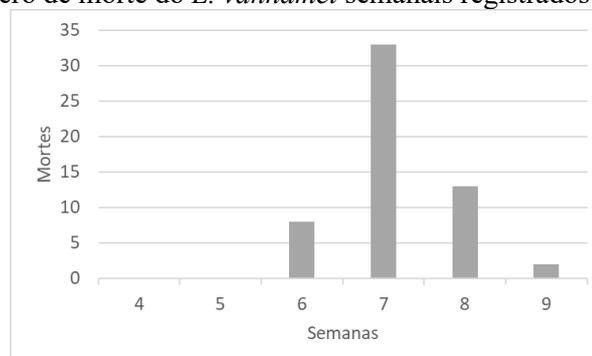


Figura 27 - Número de morte do *L. vannamei* semanais registrados nas semanas 4 a 9.



4.4 DESEMPENHO FITOTÉCNICO

Os espinafres da Nova Zelândia foram transplantados no sistema na semana 4 onde continuou por 49 dias ou até a semana 11. No início do experimento foram transplantadas mudas com aproximadamente 7 espinafres. Na semana 7 foram diminuídas as quantidades dos espinafres em todas as células da bancada hidropônica para 3 ou 4. Essa diminuição de quantidade foi para evitar a alta densidade das plantas e o sombreamento que poderiam afetar o crescimento dos espinafres (DIAS, 2017; GOMES, 2020). A Tabela 7 apresenta os índices fitotécnicos, onde a biomassa final foi de 519,41 g e com comprimento médio final de 13,54 cm, sem levar em conta as raízes.

Tabela 7 - Índices fitotécnicos do espinafre da Nova Zelândia cultivado em sistema de aquaponia com bioflocos microbianos durante 49 dias.

Parâmetro	Média
Peso médio inicial (g)	0,23
Peso médio final (g)	4,00
Biomassa inicial (g)	29,38
Biomassa final (g)	519,41
Comprimento médio inicial (cm)	4,94
Comprimento médio final (cm)	13,54

No final do experimento, algumas folhas apresentaram indicação de deficiências nutritivas, o que pode ser falta de ferro que de acordo com Veígas et al. (2013), isso se deve, quando apresenta clorose em folhas novas, nervuras com reticulado fino, inicialmente de coloração verde e posteriormente verde pálida (Figura 28). Esse déficit de ferro pode ser corrigido adicionando-o no sistema (RAKOCY, 2007).

Figura 28 - Espinafre da Nova Zelândia na última semana do experimento.



4.5 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS SAIS PRODUZIDOS

Para avaliar quantitativamente o sal produzido, foi considerado somente a produção do sal na pirâmide pequena, apresentada na Figura 18 (B), tanto para água do concentrado quanto para o efluente do sistema aquapônico, assim, para melhor compara entre os dois.

Foi evaporado 11 L do efluente do sistema aquapônico produzindo 109,27 g de sal, levando em conta que o efluente tinha salinidade média de $11,55 \pm 0,15$ ppt, portanto, foi produzido em média 9,93 g/L de sal, e era esperado produção de 11,55 g/L de acordo com a salinidade do efluente. Também foi evaporado 3 L de concentrado produzindo 21,61 g de sal, levando em conta que o concentrado tinha salinidade média de $9,01 \pm 0,26$ ppt, portanto, foi produzido em média 7,20 g/L de sal, e era esperado produção do sal de 9,01 g/L de acordo com a salinidade do efluente.

Acredita-se que essa diferença entre a quantidade do sal produzido e a quantidade do sal esperado se deu porque na coleta de sal sempre fica uma pequena parte que não se consegue coletar, dessa forma não entram na pesagem. Também foi observado que o efluente do sistema aquapônico produziu em média maior quantidade de sal por litro que o concentrado, isso porque a sua salinidade era maior.

4.6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SAIS

4.6.1 Análises dos microrganismos patogênicos

Para analisar a presença dos microrganismos patogênicos, foram analisados tanto o sal do concentrado da OI quanto o sal do efluente do sistema aquapônico, com relação à presença de bactérias *E. coli*, *Salmonella*, colifagos somáticos PhiX e RNA F-específico MS2. Assim, não foram detectadas a presença de nenhuma delas.

Soares (2004) e Cardoso da Silva et al. (2014), em estudos com destiladores solares tipo pirâmide não detectaram a presença de bactérias *E. coli* e nem de coliformes totais nas águas tratadas, ou seja, remoção de 100%. Provavelmente por causa da desinfecção solar que pode inativar vírus, bactérias e protozoários presentes na água (García-Gil et al., 2020), sendo assim, o mesmo pode se pensar em relação aos sais. Assim, pode-se assumir que a desinfecção solar pode ter eliminado a maioria dos microrganismos patogênicos.

A ausência dos microrganismos patogênicos analisados, por além das altas temperaturas, pode ser explicada pelo fato de que, de acordo com Zhang et al. (2014), altas concentrações de sal podem causar plasmólise e perda de atividade das células, ou seja, as bactérias perdem água por osmose e morrem. Assim, um dos motivos de antigamente o sal ser utilizado como conservante de produtos como peixes, carnes, vegetais e couros (SILVA, 2011).

4.6.2 Análises físico-químicas dos sais

A Tabela 8 apresenta valores das análises de sal do concentrado e do sal do efluente da aquaponia quanto a umidade, resíduos insolúveis, cálcio, magnésio e sulfato acima dos limites máximos e os valores de NaCl base úmida e NaCl base seca abaixo dos limites mínimos comparando com o sal tipo 2 e o sal tipo 3 caracterizados pelo decreto 75.697, de 6 de maio de 1975, que dispõe de padrões de qualidade para o sal destinado ao consumo humano e do decreto nº 80.583, de 20 de outubro de 1977, que estabelece padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo animal e dá outras providências.

Tabela 8 - Resultado das análises físico-químicas dos sais em comparação com o sal do tipo 2 e 3.

Ensaio (%)	Sal do concentrado	Sal do efluente da aquaponia	Sal tipo 2	Sal tipo 3
Umidade	5,57 ± 0,06	5,36 ± 0,23	3,00	5,00
Resíduos insolúveis	0,67 ± 0,05	0,74 ± 0,21	0,20	0,25
Cálcio	0,27 ± 0,05	0,59 ± 0,02	0,14	0,28
Magnésio	0,97 ± 0,04	1,15 ± 0,10	0,08	0,20
Sulfato	2,00 ± 0,15	3,02 ± 0,09	0,42	1,00
NaCl base úmida	88,68 ± 0,28	86,97 ± 0,69	95,99	92,93
NaCl base seca	94,26 ± 0,23	92,33 ± 0,55	98,98	97,93

Dados são média ± desvio padrão.

Foi escolhido o sal do tipo 2 e 3 para a comparação, sendo que, os valores de umidade, resíduos insolúveis, cálcio, magnésio e sulfato são os valores máximos permitidos e os valores de NaCl base úmida e NaCl base seca são os valores mínimos permitidos.

Sal tipo 2 – características dos sais para consumo humano e animal de acordo com o decreto 75.697, de 6 de maio de 1975, e decreto n° 80.583, de 20 de outubro de 1977.

Sal tipo 3 – características dos sais para consumo de animal, mas não pode ser usado como ingrediente de acordo com o decreto n° 80.583, de 20 de outubro de 1977.

Os valores de resíduos insolúveis, cálcio, magnésio e sulfato poderiam ser menores se tivessem sido feitas as lavagens dos sais o que reduziriam o teor das impurezas e adequando os teores dos elementos, em consequência isso aumentaria os valores de NaCl base úmida e NaCl base seca.

Leite e Delboni Júnior (2004), citam que na Salina Diamante Branco compararam os valores das análises de cálcio, magnésio e sulfato do sal lavado e sal não lavado, e o sal lavado teve uma eficiência de redução de 55%, 66% e 59%, respectivamente. Indicando que poderia ser melhorada a qualidade do sal produzido neste estudo.

Foi feita a análise do iodo no sal do concentrado e no sal do efluente aquapônico, mas não foi detectado. A olho nu foi observado sujeira no sal do efluente da aquaponia, e não foi observado no sal do concentrado. Pode-se também ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Sal do concentrado e sal do efluente aquapônico depois de serem coletados para as análises.



4.7 POSSÍVEIS USO DO SAL DO CONCENTRADO E SAL DO EFLUENTE AQUAPÔNICO

Neste estudo a valorização do concentrado da dessalinização foi feita através do seu uso no sistema aquapônico com bioflocos microbianos, para a produção de camarões e Espinafres da Nova Zelândia.

No Brasil o sal pode ser usado para o consumo humano como sal de cozinha, caso este estiver em boas condições e estar em conformidade com o decreto 75.697, de 6 de maio de 1975, e terá de ser adicionado o iodo. A Resolução – RDC nº 23, de 24 de abril de 2013, atualmente vigente estabelece que o sal apropriado ao consumo deve conter de 15 a 45 mg de Iodo por quilograma do produto. Nesse contexto os sais do concentrado e do efluente do sistema aquapônico produzidos neste estudo não se encontram em conformidade com o decreto, assim, não pode ser usado como sal de cozinha.

Os sais do concentrado e do efluente do sistema aquapônico podem ser usados para a salinização de águas de criação de peixes da aquicultura com sistema bioflocos, levando em conta a salinidade e o balanço iônico desejado. A salinização das águas de sistema bioflocos em áreas interiores tem preços variados dependendo do preço dos sais de cada local

(KUBITZA, 2019). Esse preço pode ser baixado utilizando os sais do concentrado e do efluente do sistema aquapônico. Caso não se tenha o balaço iônico desejado pode-se corrigir adicionando esses íons no sistema.

Os sais do concentrado e do efluente do sistema aquapônico não podem ser usados na alimentação dos bovinos, como ingrediente, quando se destinar ao preparo de misturas comerciais (sal mineralizado, suplemento, ração) e como produto final, quando se destinar ao consumo "*in natura*" pelos Bovinos, isso porque esses sais não se encontram em conformidade com o decreto n° 80.583, de 20 de outubro de 1977, que estabelece padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo animal e dá outras providências.

Caso os sais produzidos estiverem em conformidades com o decreto n° 80.583, de 20 de outubro de 1977 esses sais podem conter além dos minerais analisados do sais na Tabela 8 como também os minerais analisados na Tabela 3, que foram analisados apenas na água de estudo, água do concentrado e efluente da aquaponia, Assim, os macro minerais como cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), enxofre (S), sódio (Na), cloro (Cl) e potássio (K), e os micro minerais como ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) que são importantes para a dieta dos bovinos (SALMAN et al., 2011; ANDRIGUETTO et al., 2002).

4.8 POSSÍVEIS DESCARTES DOS SAIS E DO CONCENTRADO DA DESSALINIZAÇÃO

Os sais produzidos neste estudo podem ser descartados em aterros sanitários ou aterros industriais. Sendo interessante quando esses sais são gerados em áreas longe do mar como algumas regiões do nordeste.

Caso se queira descartar o concentrado sem a sua valorização, existe a possibilidade de descarte através da injeção em poço de grande profundidade, que é conhecido como um processo caro dependendo da geologia do lugar, e normalmente é feita para estações de dessalinização de grande porte (SOARES et al., 2006), mas pode-se avaliar a possibilidade de adaptação para pequenos estações de dessalinização, assim, construindo poço de injeção mais barato, evitando a salinização do solo superior. A injeção em poço de profundidade é uma opção interessante que pode ser estudada para o nordeste do Brasil, que tem alguns lugares onde é feita a dessalinização e a composição do solo subterrâneo já tem a presença de sais.

5 CONCLUSÃO

A valorização do concentrado da osmose inversa na produção de *Litopenaeus vannamei* e espinafre da Nova Zelândia em sistema aquapônico com bioflocos, mostrou ser promissora. Acredita-se que cuidando do balanço iônico do sistema quando for necessário e mantendo o nível de nitrito baixo, pode-se reproduzir o experimento com resultados de sobrevivência dos camarões maiores. Recomenda-se iniciar o experimento quando o biofloco do sistema estiver em estágio quimioautotrófico, com o processo de nitrificação estabelecido ou trabalhar com salinidade maior.

A produção do sal do concentrado da osmose inversa e sal do efluente do sistema aquapônico mostrou ser promissor para possíveis valorizações. O sal do concentrado teve qualidade melhor que o sal do efluente do sistema aquapônico, mas esses sais não estavam em conformidades para usos para consumo humano e bovino. No caso do sal do concentrado acredita-se que pode ser usado para a salinização de águas de criação de peixes. A qualidade do sal como ingrediente de misturas comerciais para bovinos e como produto final "*in natura*" também para bovinos, poderiam ser alcançadas caso fosse utilizado água de estudo de melhor qualidade e caso fosse feita a lavagem dos sais, assim, como a adição de aditivos de acordo com a necessidade.

REFERÊNCIAS

- (ABCC) Associação Brasileira de Criadores de Camarão - A extraordinária evolução mundial do *Litopenaeus Vannamei*. Em: **Revista da ABCC – Ano XVIII Nº1** – Junho 2016. Disponível em : < <https://www.4shared.com/web/preview/pdf/HekO3c8-ce> > acessado em: 03 dez. de 2019.
- ADAMS M.H. 1959. Bacteriophages. Interscience Publishers Inc: New York, U.S.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15857**: Válvula de descarga para limpeza de bacias sanitárias — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011. 22 p.
- ALMEIDA, G. M.; SILVA, G. C. J. Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do município de maricá - RJ. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 2, p. 104– 117, 2007.
- ALONSO, M. Ángeles; CRESPO, Manuel B.. Taxonomic and Nomenclatural Notes on South American Taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). **Annales Botanici Fennici**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.241-254, ago. 2008. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board. <http://dx.doi.org/10.5735/085.045.0401>.
- (ANA) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – **Muita água para pouca consciência**. Ministério do Desenvolvimento Regional (2019). Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias-antigas/muita-a-gua-para-pouca-consciaancia.2019-03-15.4481351298> > acessado em: 29 mar. de 2022.
- ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal**. São p: Nobel, 2002. 1 v.
- [APHA]. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2017.
- ASADOLLAHI, Mahdiah; BASTANI, Dariush; MUSAVI, Seyyed Abbas. Enhancement of surface properties and performance of reverse osmosis membranes after surface modification: A review. **Desalination**, [s.l.], v. 420, p.330-383, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.027>.
- ATZORI, Giulia; NISSIM, Werther; MACCHIARELLI, Tania; VITA, Federico; AZZARELLO, Elisa; PANDOLFI, Camilla; MASI, Elisa; MANCUSO, Stefano. *Tetragonia tetragonioides* (Pallas) Kuntz. as promising salt-tolerant crop in a saline agricultural context. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 240, p. 106261, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106261>.
- AVNIMELECH, Y. 2012. Biofloc Technology - A Practical Guide Book, 2d Edition. **The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, Louisiana, United States.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 176, n. (3-4), p. 227-235, June, 1999.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. 2005. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.9, p.320-326.

BERTIN, R. L., **Prospecção para exploração da erva de sal (sarcocornia ambigua - amaranthaceae): análise histológica, caracterização química, valor nutricional e potencial antioxidante** / Renata Labronici; orientador, Roseane Fett; coorientador, Lorena Benathar Ballod Tavares. - Florianópolis, SC, 2014a. 152 p.

BERTIN, Renata Labronici et al. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, [s.l.], v. 55, p.404-411, jan. 2014b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.036>.

BERTIN, Renata Labronici et al. Mineral composition and bioaccessibility in *Sarcocornia ambigua* using ICP-MS. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [s.l.], v. 47, p.45-51, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.12.009>.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 23, de 24 de abril de 2013**. Dispõe sobre o teor de iodo no sal destinado ao consumo humano e dá outras providências. Brasília: ANVISA, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 75697, de 06 de maio de 1975**. Aprova padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo humano. Pub: D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 07 de maio de 1975.

BRASIL. **Decreto nº 80.583, de 20 de outubro de 1977**. Estabelece padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo animal e dá outras providências. Pub: D.O. - Diário Oficial de 21 de outubro de 1977.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357/05, de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. DOU, Brasília, nº 053, p. 58-63, de 18 Mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Documento Base do Programa Água Doce**. Brasília, 2012. Disponível em: < <https://aguadoce.mma.gov.br/anexos/documento-base.pdf> >. Acesso em: 04 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 107/17, de julho de 2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Recife, 27 de julho de 2017a.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 115/17, de novembro de 2017**. Aprova a Proposição nº 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107, e 27 de julho de 2017. Fortaleza, 23 de novembro de 2017b.

BRUGGEN, Bart van Der; VANDECASTEELE, Carlo. Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination. **Desalination**, [s.l.], v. 143, n. 3, p.207-218, jun. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0011-9164\(02\)00259-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0011-9164(02)00259-x).

BUHMANN, Anne K.; WALLER, Uwe; WECKER, Bert; PAPENBROCK, Jutta. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 149, p. 102-114, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.001>.

BURGARDT, Tiago. **Filtração em sedimento do mar como pré-tratamento a osmose inversa** / Tiago Burgardt; orientador, Mauricio Luiz Sens, 2017. 126 p.

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

Cardoso da Silva, Márcio Claudio, Luiz Sens, Maurício, Soares, Clarissa, Onofre de Andrade Neto, Cícero Water purification by direct solar distillation process in isolated households. **Acta Scientiarum. Technology** [en línea]. 2014.

CARNEIRO, R. F. S., **Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* em hidroponia e aquaponia com *Litopenenaeus vannamei***. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019. 60 p.

CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 22, n. 63, p.61-82, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200005>.

Cooley, H., P. H. Gleick, and G. Wolff **Desalination, With a Grain of Salt: A California perspective**. Oakland, CA: Pacific Institute for Studies in Development, and Security (2006).

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

COSTA, C. S. B. et al. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 86, n. 2, p.935-943, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420130022>.

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., and Tchobanoglous, G. (2012) **MWH's Water Treatment: Principles and Design**, 3rd ed. Wiley, Hoboken, NJ.

DEMETRIO, J. G. A. et al. Aquíferos fissurais. In: CIRILO, J. A. et al. (Org.) **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas**. Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, 2007. p.508.

Dias, F. S., **Influência do espaçamento e da densidade de semeadura sobre o desempenho de híbridos de milho**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2017.

Dias, G. (2015). Sal verde e mais saudável. **Agropecuária Catarinense** 28:29–31.

DONCATO, Kennia Brum; COSTA, César Serra Bonifácio. GROWTH AND MINERAL COMPOSITION OF TWO LINEAGES OF THE SEA ASPARAGUS SARCOCORNIA AMBIGUA IRRIGATED WITH SHRIMP FARM SALINE EFFLUENT. **Experimental Agriculture**, [s.l.], v. 54, n. 3, p.399-416, 9 mar. 2017. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0014479717000096>.

DOW LATIN AMERICA, **A tecnologia de membrana de osmose reversa**. Boletim Técnico, 1996. FILMTEC, Tech Manual, Dow Chemical Company, 1995.

ELIMELECH, M.; PHILLIP, W. A.. The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. **Science**, [s.l.], v. 333, n. 6043, p.712-717, 4 ago. 2011. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1200488>.

EMBRAPA. **Sal mineral deve ser dado para os bovinos o ano todo**. Produção Animal. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/4291350/sal-mineral-deve-ser-dado-para-os-bovinos-o-ano-todo>>. Acesso em: 26 de fevereiro 2022.

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

FIGUEIRA, F. A. R., **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª edição revista e ampliada. Fernando Antonio Reis Filgueira – Viçosa: UFV, 412p. 2003.

GAIO, S. S. M., (2016). **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica**. 90 p. Dissertação - Departamento de engenharia geográfica, geofísica e energia - Universidade de Lisboa.

Galkanda-Arachchige, H., Roy, L. A., & Davis, D. A. (2021). The effects of magnesium concentration in low-salinity water on growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture Research**, 52, 589– 597. <https://doi.org/10.1111/are.14916>

García-Gil, Ángela, Cristina Pablos, Rafael A García-Muñoz, Kevin G McGuigan, and Javier Marugán. "Material Selection and Prediction of Solar Irradiance in Plastic Devices for Application of Solar Water Disinfection (SODIS) to Inactivate Viruses, Bacteria and Protozoa." **The Science of the Total Environment** 730 (2020).

GHEYI, H. R. 2000. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, J. R.; R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.329-345.

GOMES, R. R., **Caracterização agrônômica e nutricional de espinafre- amazônico (*Alternanthera sessilis* L.) sob níveis de sombreamento**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, 2020.

GONÇALVES, M. M., **Mapeamento genético no camarão *Litopenaeus Vannamei* (Crustacea, Decapoda)** / tese (Doutorado). São Carlos: UFSCar, 2010. 70 f.

GREENLEE, Lauren F. et al. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. **Water Research**, [s.l.], v. 43, n. 9, p.2317-2348, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>.

HARGREAVES, J. A., 2013. Biofloc production systems for aquaculture. **Southern Regional Aquaculture Center Publication** No. 4503.

HENRIQUE, Paôla de Castro; ALVES, José Donizeti; DEUNER, Sidnei; GOULART, Patrícia de Fátima Pereira; LIVRAMENTO, Dárlan Einstein do. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 46, n. 5, p. 458-465, maio 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000500002>.

(IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste - Tipo de Água**. (2015). Disponível em: < https://dados.gov.br/dataset/cren_hidroquimicasubtregiaone_tipoagua > acessado em: 02 ago. de 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 10705-1: Water quality — **Detection and enumeration of bacteriophages** — Part 1: Enumeration of F-specific RNA bacteriophages, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 10705-2: Water quality — **Detection and enumeration of bacteriophages** — Part 2: Enumeration of somatic coliphages, 2000.

JORDAN, Fiona L. et al. Consumptive water use and stomatal conductance of *Atriplex lentiformis* irrigated with industrial brine in a desert irrigation district. **Agricultural And Forest Meteorology**, [s.l.], v. 149, n. 5, p.899-912, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.11.010>.

KADEREIT, Gudrun; MUCINA, Ladislav; FREITAG, Helmut. Phylogeny of Salicornioideae (Chenopodiaceae): diversification, biogeography, and evolutionary trends in leaf and flower morphology. **Taxon**, [s.l.], v. 55, n. 3, p.617-642, ago. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2307/25065639>.

KHAWAJI, Akili D.; KUTUBKHANAH, Ibrahim K.; WIE, Jong-mihn. Advances in seawater desalination technologies. **Desalination**, [s.l.], v. 221, n. 1-3, p.47-69, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>.

KRAPP, Juliana. Brasileiros consomem quase o dobro de sal sugerido pela OMS. **AGÊNCIA FIOCRUZ DE NOTÍCIAS**. 2019. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/noticia/brasileiros-consumem-quase-o-dobro-de-sal-sugerido-pela-oms>>. Acesso em: 26 de fevereiro 2022.

KUBITZA, F. A interiorização do *L. vannamei* no Brasil: os desafios nos cultivos em sistemas intensivos com zero descarga de água. **Rev Panorama da Aquicultura**, vol. 29, nº 175. 2019.

KUNRATH, C. C. N.; AMADO, F. D. R. ; CAMPOS, J. T. G. A. E. A., **Análise Comparativa do Processo de Eletrodialise como Ferramenta Analítica para Redução do Consumo Energético do Processo de Dessalinização da Água Salobra**. Em: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2013.

LAUTENSCHLAGER, S. R.; **Otimização do processo de ultrafiltração no tratamento avançado de efluentes e águas superficiais**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2006.

Leite, J. Y. P; Delboni Júnior, H. (2004). A indústria do sal, processamento e cominuição. In **Anais: XX ENTMME**. Criciúma: Desktop Publishing/UNESC, 2004.

Lima, E. A., do Nascimento, D. A., Guilera, S. C. & Brandão, L. C. R. Mapa de variação da concentração total de sais das águas subterrâneas da região nordeste do Brasil. In **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. pp. 1–11, 2008.

LIN, Yong-Chin; CHEN, Jiann-Chu. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. **Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology**, [S.L.], v. 259, n. 1, p. 109-119, abr. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-0981\(01\)00227-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-0981(01)00227-1).

LODO, Maria Angélica et al. Assessment of the physiological potential of spinach seeds (*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze). **Journal Of Seed Science**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.284-291, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2317-15372013000300002>.

MAICÁ, P. F.; DE BORBA, M. R.; WASIELESKY, W. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 3, p. 361–370, 2012.

MATOS, Ângelo Paggi et al. Teores de proteínas e lipídeos de *Chlorella* sp. cultivada em concentrado de dessalinização residual. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 45, n. 2, p.364-370, 14 out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20121104>.

(MDR) Ministério do Desenvolvimento Regional – **Programa água doce**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1> > acessado em: 10 fev. de 2021.

MEDEIROS JÚNIOR, Eurípedes de. **Controle de estoques de sal: uma inovação da quantificação e no gerenciamento dos recursos naturais da indústria mineral**. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Estratégia; Qualidade; Gestão Ambiental; Gestão da Produção e Operações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MEDINA, Miles et al. Assessing plant growth, water quality and economic effects from application of a plant-based aquafeed in a recirculating aquaponic system. **Aquaculture International**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.415-427, 25 jul. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-015-9934-3>.

MELO, Fabiana Penalva; FERREIRA, Maria Gabriela Padilha; BRAGA, Ítalo Felipe Mascena; CORREIA, Eudes de Souza. Toxicidade do nitrito para o camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistemas de água clara e bioflocos. **Boletim do Instituto de Pesca**, [S.L.], v. 42, n. 4, p. 855-865, 30 dez. 2016. Boletim do Instituto de Pesca. <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n4p855>.

MENDES, Alexandra. et al. 2012. Produção de Sal. Disponível em: < <https://alvarovelho.net/attachments/article/47/producaosal.PDF>>. Acesso em: 05 de maio 2021.

MENEZES, Joilma da S.; CAMPOS, Vânia P.; COSTA, Tadeu A. de C.. Desalination of brackish water for household drinking water consumption using typical plant seeds of semi arid regions. **Desalination**, [s.l.], v. 281, p.271-277, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.002>.

MEZHER, Toufic et al. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. **Desalination**, [s.l.], v. 266, n. 1-3, p.263-273, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.035>.

MIERZWA, J. C. **Estudo sobre tratamento integrado de efluentes químicos e radioativos, introduzindo-se o conceito de descarga zero**, São Paulo: 1996 Tese (Mestrado), IPEN/CNEN-SP – Universidade de São Paulo, 1996. 171p.

MIERZWA, José Carlos et al. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.78-87, mar. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522008000100011>.

MOCOCK, J.F.B.; PESSÔA, C. N.; RABBANI, E. R. K. Estudo dos métodos de dessalinização de águas subterrâneas: proposta mais adequada para abastecimento de populações difusas do semiárido brasileiro. Em: **XIV fórum Ambiental da Alta Paulista**, 2018.

MOURA, Edymara Sinthia Rocha de et al. Yield and forage quality of saltbush irrigated with reject brine from desalination plant by reverse osmosis. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.1-10, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n101rc>.

Morais, Laura Patrícia Lopes. **Avaliação do controle de qualidade do processo de refino e beneficiamento do sal marinho na empresa REFIMOSAL (refinação e moagem de sal santa helena ltda)** / Laura Patrícia Lopes Moraes. 2020. 57 f. : il.

NOSAL. **A história do sal**. Disponível em: <<https://www.norsal.com.br/novidades.asp>>. Acesso em: 05 de maio 2021.

OLIVEIRA, Aryane Mota de. **Modelagem do avanço da cunha salina em sistema aquífero costeiro**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PINHEIRO, Isabela; ARANTES, Rafael; SANTO, Carlos Manoel do Espírito; VIEIRA, Felipe do Nascimento; LAPA, Katt Regina; GONZAGA, Luciano Valdemiro; FETT, Roseane; BARCELOS-OLIVEIRA, Jorge Luiz; SEIFFERT, Walter Quadros. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 100, p. 261-267, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.024>.

PINHEIRO, I. C., **Estratégias de produção de camarão marinho e salicórnia em aquaponia com bioflocos**. Tese (doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021. 82 p.

PINHEIRO, I. C., **Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015. 48 p.

Pinto, Layane Érica da Silva. **Avaliação do processo de beneficiamento e dos parâmetros físico-químicas do sal marinho produzido pela REFIMOSAL** / Layane Érica da Silva Pinto. – Mossoró, 2018. 71 f.: il.

(PLANSAB) Plano Nacional em Saneamento Básico. Relatório de avaliação anual.

PLANSAB, (2014). Disponível em: <

http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/relatorio_anual_avaliacao_plansab_2014_15122015.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2019.

PORTO, E. R. et al. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

PRANGNELL, David I.; SAMOCHA, Tzachi M.; STARESINIC, Nick. Water. **Sustainable Biofloc Systems For Marine Shrimp**, [S.L.], p. 37-58, 2019. Elsevier.
<http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818040-2.00004-6>.

RAKOCY, J. E. Ten guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**, v. 1, p. 14-17, 2007.

Richards, L.A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. **Manual de Agricultura**, vol. 60, Limusa, México (1954).

Salman, Ana Karina Dias. **Manual prático para formulação de ração para vacas leiteiras / Ana Karina Dias Salman, Elisa Köhler Osmari, Márcio Gregório Rojas dos Santos**. --Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2011. 24 p. (Documentos / Embrapa Rondônia, ISSN 0103-9865, 145).

SANTOS, J. J. C. S. (2005), **Avaliação Exergoeconômica das Tecnologias para a Produção Combinada de Eletricidade e Água Dessalinizada**, Itajubá, 210p. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p.319-326, 2011.

SANTOS, Camila Silveira Lamanes dos, 1989-2016 **Aplicação do processo de eletrodialise na remoção de cromo em efluente sintético advindo de biorreator anaeróbio / Camila Silveira Lamanes dos Santos**. - 2016. 64 f. : il.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA; M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1ª Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

SILVA, H. V., **Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de Sarcocornia ambigua em sistema aquapônico com Litopenaeus vannamei**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. 59 p.

Silva, Marcio Claudio Cardoso da. **Estudos sobre Sistemas de Destilação Solar Direta para Potabilização de Água / Marcio Claudio Cardoso da Silva**. – Florianópolis, SC, 2014. 343 p.

Silva, Maria de Fátima Rodrigues da. 2011. "Sal: contributo do design industrial para a normalização e diminuição do consumo", Design Industrial, FEUP.

SIM, Lee Nuang et al. A review of fouling indices and monitoring techniques for reverse osmosis. **Desalination**, [s.l.], v. 434, p.169-188, maio 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2017.12.009>.

SOARES C. **Tratamento de Água Uni familiar através da Destilação Solar Natural Utilizando Água Salgada, Salobra e Doce Contaminada**. 2004. 110p. Dissertação de

Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC, 2004.

SOARES, T. M. et al. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2006.

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

SOUZA, L. F., **Análise térmica de um dessalinizador de múltiplo efeito para obtenção de água potável**. 2002. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2002.

SOWERS, Anthony; YOUNG, Shawn P.; ISELY, J. Jeffery; BROWDY, Craig L.; TOMASSO, Joseph R.. Nitrite Toxicity to *Litopenaeus vannamei* in Water Containing Low Concentrations of Sea Salt or Mixed Salts. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 445-451, dez. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00109.x>.

SHANNON, Mark A. et al. Science and technology for water purification in the coming decades. **Nature**, [s.l.], v. 452, n. 7185, p.301-310, mar. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature06599>.

SUASSUNA, J. **Potencialidades hídricas do nordeste brasileiro**. Parcerias Estratégicas, v. 20, p. 119-144, 2005. Disponível em: <<http://www.sfrancisco.bio.br/aspbio/arquivos/pothidric.pdf>> Acesso em: 21 out. 2019.

SUASSUNA, João - A Água no Semiárido Brasileiro: potencialidades e limitações, Ecodebate, 2012. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/07/26/a-agua-no-semiarido-brasileiro-potencialidades-e-limitacoes-artigo-de-joao-suassuna/>> Acesso em: 21 out. 2019.

SUDENE. **DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO**. 2017. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em: 04 nov. 2019.
Tateoka, Marina Sampaio Slussarek. **Tratamento de Água de Abastecimento por Nanofiltração e Osmose Inversa para Remoção dos Carbamatos: Carbaril, Carbofurano e Metomil** / Maria Sampaio Slussarek; orientador, Maurício Luiz Sens; coorientador, José Carlos Cunha Petrus. – Florianópolis, SC, 2014. 123 p.

TATEOKA, M. S. S., **Tratamento de água de abastecimento por nanofiltração e osmose inversa para remoção dos carbamatos: carbaril, carbofurano e metomil** / Marina Sampaio Slussares Tateoka; orientador, Mauricio Luiz Sens; coorientador, José Carlos Cunha Petrus. - Florianópolis, SC, 2014. 123 p.

Timm, T. G., Silva, A. A. Jr., Bertin, R. L. and Tavares, L. B. B. (2015). Processamento de conservas de *Sarcocornia perennis*. **Agropecuária Catarinense** 28:97–102.

TYSON, Richard V.; TREADWELL, Danielle D.; SIMONNE, Eric H.. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. **Horttechnology**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.6-13, fev. 2011. American Society for Horticultural Science.
<http://dx.doi.org/10.21273/horttech.21.1.6>.

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

VEÍGAS, Ismael de Jesus Matos; SOUSA, Gizele Odete de; SILVA, Adélia Fernandes da; CARVALHO, Janice Guedes de; LIMA, Martinha Moura. Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.). **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 43-50, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672013000100006>.

VOUTCHKOV, Nikolay. Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system. **Desalination**, [s.l.], v. 261, n. 3, p.354-364, out. 2010. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.002>.

WERNER, Adrian D. et al. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. **Advances In Water Resources**, [s.l.], v. 51, p.3-26, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.004>.

(WHO) World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva: World Health Organization; 2017.

XIE, Ming; LUO, Wenhai; GRAY, Stephen R.. Synchrotron Fourier transform infrared mapping: A novel approach for membrane fouling characterization. **Water Research**, [s.l.], v. 111, p.375-381, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.020>.

Yousif B.S., Nguyen N.T., Fukuda Y., Hakata H., Okamoto Y., Masaoka Y., Saneoka H. Effect of Salinity on Growth, Mineral Composition, Photosynthesis and Water Relations of Two Vegetable Crops; New Zealand Spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and Water Spinach (*Ipomoea aquatica*). **Int. J. Agric. Biol.** 2010; 12: 211–216.

Zander A., Elimelech M., Furukawa D., Gleick P., Herd K., Jones K. L., Wood W. W., **Desalination: a National Perspective**, National Research Council, The National Academies (2008).

Zhang, X. et al. Characterization of a salt-tolerant bacterium *Bacillus* sp. from a membrane bioreactor for saline wastewater treatment, **Journal of Environmental Sciences**, Volume 26, Issue 6, 2014, Pages 1369-1374, ISSN 1001-0742, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60613-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60613-0).

ZHENG, Libing et al. Characteristics and formation mechanism of membrane fouling in a full-scale RO wastewater reclamation process: Membrane autopsy and fouling characterization. **Journal Of Membrane Science**, [s.l.], v. 563, p.843-856, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2018.06.043>.

ZOU, Yina et al. Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 23, n. 7, p.6671-6679, 9 dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-5898-0>.

ZÁRATE, Néstor A. Heredia; VIEIRA, Maria do Carmo. Produção e renda bruta da cebolinha solteira e consorciada com espinafre. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 22, n. 4, p.811-814, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362004000400031>.

APÊNDICE

Seguem algumas fotos tiradas no decorrer da realização da pesquisa:

Figura 30 - Dessalinização da água de estudo gerando concentrado.



Figura 31 - Montagem de Estufa que recebeu o sistema piloto aquapônico.



Figura 32 - Sistema piloto aquapônico de cultivo de *L. vannamei* e espinafre da Nova Zelândia no início do experimento.



Figura 33 - Espinafre da Nova Zelândia no dia da colheita.



Figura 34 - *L. vannamei* no dia da despesca.



Figura 35 - Pequena parte do concentrado da dessalinização (A) e do efluente do sistema aquapônico (B) utilizados na destilação.



Figura 36 - Destilação solar do concentrado.



Figura 37 - Destilação solar do efluente do sistema aquapônico.



Nesse experimento (Figura 37) a coloração verde amarelada vai diminuindo de acordo com a destilação, e no final ficando apenas o sal com pouca coloração.