



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

Bruno Mellado Ornellas

**Uso do Balanço de Massa para Dimensionar e Avaliar Economicamente
Sistemas Aquapônicos Urbanos: Tilápia-do-Nilo e Hortaliças**

Florianópolis
2024

Bruno Mellado Ornellas

**Uso do Balanço de Massa para Dimensionar e Avaliar Economicamente
Sistemas Aquapônicos Urbanos: Tilápia-do-Nilo e Hortaliças**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Aquicultura da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito parcial para a obtenção do título
de Mestre em Aquicultura.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Katt Regina Lapa
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Fernandes de Barros

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Ornellas, Bruno Mellado

Uso do Balanço de Massa para Dimensionar e Avaliar Economicamente Sistemas Aquapônicos Urbanos: Tilápia-do Nilo e Hortaliças / Bruno Mellado Ornellas ; orientadora, Katt Regina Lapa, coorientadora, Adriana Fernandes de Barros, 2024.

52 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Fazenda urbana aquapônica. 3. Análise econômica. 4. Sistemas multitróficos. 5. Viabilidade financeira. I. Lapa, Katt Regina . II. Barros, Adriana Fernandes de . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Bruno Mellado Ornellas

**Uso do Balanço de Massa para Dimensionar e Avaliar Economicamente
Sistemas Aquapônicos Urbanos: Tilápia-do-Nilo e Hortaliças**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 28 de agosto de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Katt Regina Lapa, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Brunno da Silva Cerozi, Dr.
Universidade de São Paulo

Prof. José Luiz Pedreira Mouriño, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

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

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Katt Regina Lapa, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2024.

*Aos meu queridos pais,
Marcelo e Dolores,
por tantos investimentos
em educação que dedicaram a mim*

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais Marcelo e Dolores, pela dedicação e amor que incondicionalmente dedicaram a mim, resultando na pessoa em que me tornei.

Aos meus amados e queridos filhos Cauê e Samuel. Vocês são luz de inspiração em minha vida, amor incondicional que alimenta o meu ser. Amo demais!

À minha orientadora Katt Regina Lapa pela seu profissionalismo de excelência e seus conhecimentos técnicos e científicos avançados, que foram fundamentais para desenvolvimento desta pesquisa, pelo seu perfil humano incentivador que incansavelmente ressaltou as minhas capacidades profissionais, pela paciência e apoio psicológico oferecido inúmeras vezes nos meus momentos de vulnerabilidade emocional enfrentados durante a minha trajetória acadêmica. Sou imensamente grato pela oportunidade de trabalharmos juntos. Você foi demais! Obrigado por tudo.

À professora Adriana Fernandes de Barros, por aceitar ser coorientadora da pesquisa, por todos os conhecimentos técnicos e econômicos compartilhados, e pelas inúmeras horas dedicadas para a elaboração de planilhas, análise de dados e indicadores econômicos. Sua visão empreendedora foi importantíssima para mim.

Aos meus irmãos Diego e Gabriel, parceiros da vida, de sambas, de viagens, de conversas etílicas, de incentivos, de momentos compartilhados em tempos bons e ruins. Vocês sempre foram muito especiais para mim.

Ao meu primo Thiago por toda parceria que realizamos juntos nos negócios, nos desenhos, nos experimentos e nos conhecimentos aquapônicos, Sempre presente para plantar, colher, buscar peixes, despescar, pesar, analisar, calcular, projetar, errar, finalizar, recomeçar, replantar, repovoar. Tenho muita admiração e consideração por ti.

Ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e a UFSC pelos conhecimentos adquiridos e aperfeiçoamento profissional e pessoal adquiridos e experiências ofertadas. Ao Carlito, secretário do PPGAQI, pela sua atenção e a FAPESC pela bolsa de estudos concedida.

Por fim, expresso gratidão a todos que diretamente ou indiretamente estiveram ao meu lado, colaborando e oferecendo apoio em minha trajetória.

“Conectar ecossistemas é a chave para a resiliência”.
(Sylvia Bernstein)

RESUMO

Sistemas de recirculação aquícola (RAS) de aquaponia foram reconhecidos como importante ferramenta tecnológica para a produção de peixes e alimentos de forma integrada, reduzindo a demanda de recursos naturais como água, insumos, fertilizantes, descarte de efluentes e uso de terra. Diversos estudos têm sido desenvolvidos no âmbito técnico, econômico, social e ambiental no intuito de atender as premissas de sustentabilidade na produção de alimentos. Apesar das inúmeras vantagens no uso desta tecnologia, observam-se gargalos em conhecimentos técnicos para dimensionamento dos sistemas, e econômicos para viabilizar a produção aquapônica em escala comercial no Brasil, podendo determinar o sucesso ou o fracasso da atividade ao longo dos anos. O objetivo do presente estudo foi verificar a viabilidade técnica e econômica na produção integrada de tilápia (*Oreochromis niloticus*), hortaliças e tomate cereja (*Lycopersicum solanum var. cerasiforme*) em escala comercial, implantado em área urbana. Para tanto, utilizou-se o dimensionamento do balanço de massas para avaliações técnicas, e a estrutura de custos operacionais, investimentos, receita bruta, lucro operacional, índice de lucratividade, para avaliações financeiras, com dados reais de uma fazenda urbana. O balanço de massas revelou que a concentração de amônia total, dióxido de carbono, sólidos totais e oxigênio dissolvido, serão controlados dentro das taxas desejáveis. O empreendimento proposto teve investimento inicial calculado em R\$115.662,69. A produção anual de tilápias foi de 795 kg, a de hortaliças foi de 58.752 unidades e a de tomate cereja foi de 1.659 kg. Com estas produções anuais observou-se um COT de R\$7,86 e R\$12,87 para tilápia e tomate respectivamente, e de R\$2,42 para hortaliças. A Receita Bruta (RB) anual foi de R\$207.500,40 e o Custo Operacional Total (COT) de R\$169.975,56, produzindo um Lucro operacional de R\$37.524,84, resultando em um Índice de Lucratividade (IL) de 18% ao ano. A análise de sensibilidade demonstrou que a comercialização de hortaliças com valores inferiores a R\$2,50 poderiam comprometer seriamente o sucesso da atividade, ocasionando redução de 76,9% no lucro operacional das plantas. Revelou também que a perda de cada ciclo produtivo de hortaliças causa uma redução de 39,1% no lucro operacional das mesmas. Um dos principais gargalos identificados no sistema produtivo foi a dependência energética, que representou 7,3% do Custo Operacional Efetivo (COE). Assim, os resultados deste estudo fornecem excelentes subsídios técnicos e econômicos para o desenvolvimento da aquaponia em escala comercial, no contexto urbano brasileiro, entretanto, o uso de ferramentas complementares que permitam análises de viabilidade ambiental e social, devem ser exploradas para auxiliar na tomada de decisões. Conclui-se, portanto, que o sistema aquapônico proposto apresenta-se tecnicamente e economicamente viável, alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável e às metas da agenda global para 2023.

Palavras-chave: Aquicultura, Fazenda urbana aquapônica, Sistemas multitróficos, Análise econômica, Viabilidade financeira.

ABSTRACT

Aquaculture Recirculation Systems (RAS) in aquaponics have been recognized as an important technological tool for integrated fish and food production, reducing the demand for natural resources such as water, inputs, fertilizers, waste disposal, and land use. Various studies have been conducted from technical, economic, social, and environmental perspectives to meet sustainability requirements in food production. Despite the numerous advantages of this technology, there are gaps in technical knowledge for system sizing and economic aspects to make aquaponics viable on a commercial scale in Brazil, which could determine the success or failure of the activity over the years. The objective of this study was to assess the technical and economic viability of the integrated production of tilapia (*Oreochromis niloticus*), vegetables, and cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) on a commercial scale in an urban area. To this end, mass balance calculations were used for technical evaluations, and the structure of operational costs, investments, gross revenue, operational profit, and profitability index were used for financial assessments, with real data from an urban farm. The mass balance revealed that the concentration of total ammonia, carbon dioxide, total solids, and dissolved oxygen would be controlled within desirable rates. The proposed venture had an initial investment of R\$115,662.69. Annual production was 795 kg of tilapia, 58,752 units of vegetables, and 1,659 kg of cherry tomatoes. With these annual productions, the Total Operational Cost (TOC) was R\$7.86 for tilapia and R\$12.87 for tomatoes, and R\$2.42 for vegetables. The annual Gross Revenue (GR) was R\$207,500.40, and the Total Operational Cost (TOC) was R\$169,975.56, resulting in an Operational Profit of R\$37,524.84 and a Profitability Index (PI) of 18% per year. Sensitivity analysis showed that selling vegetables at prices lower than R\$2.50 could seriously jeopardize the success of the activity, leading to a 76.9% reduction in operational profit for vegetables. It also revealed that the loss of each production cycle of vegetables results in a 39.1% reduction in their operational profit. One of the main bottlenecks identified in the production system was energy dependency, which represented 7.3% of the Effective Operational Cost (EOC). Thus, the results of this study provide excellent technical and economic support for the development of aquaponics on a commercial scale in the Brazilian urban context. However, the use of complementary tools for environmental and social viability analysis should be explored to assist in decision-making. Therefore, it is concluded that the proposed aquaponics system is technically and economically viable, aligned with the principles of sustainable development and the goals of the global agenda for 2023.

Keywords: Aquaculture, Aquaponic urban farm; Multitrophic systems, Economic costs; Financial feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Layout e componentes do RAS.....	19
Figura 2.	Vista superior e Corte A do decantador.....	21
Figura 3.	Sistema de biofiltração e funcionamento hidráulico do sifão sino.....	22
Figura 4.	Raceway de cultivo de hortaliças em “sistema floating”	23
Figura 5.	Fluxograma do balanço de massa estático	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Custo operacional total (COT) do empreendimento aquapônico	29
Tabela 2.	Planejamento fitotécnico produtivo.....	30
Tabela 3.	Planejamento zootécnico produtivo.....	31
Tabela 4.	Balanço de massas dos parâmetros desejáveis no tanque de cultivo, eficiência, produção, consumo e taxa de fluxo hidráulico requerido.....	32
Tabela 5.	Indicadores econômicos da produção aquapônica entre tilápia, tomate e hortaliças.....	33
Tabela 6.	Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos da produção aquapônica considerando três preços de venda de hortaliças, mantendo R\$8,00/kg de tilápia e R\$15,00/kg de tomate.....	34
Tabela 7.	Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos considerando a perda total de dois meses da produção de hortaliças por ano.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASE	Área de Superfície Específica
PB	Proteína Bruta
RB	Receita Bruta
MB	Lucro Bruta
LO	Lucro Operacional
IL	Índice de Lucratividade
PN	Ponto de Nivelamento
COE	Custo Operacional Efetivo
COT	Custo Operacional Total
DOE	Despesas Operacionais Efetivas
RAS	Recirculating Aquaculture System
DWC	Deep Water Culture
TSS	Total de Sólidos em Suspensão
TAN	Nitrogênio Amoniacal Total
FCR	Fator de Conversão Alimentar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.2	LAYOUT DO MÓDULO PRODUTIVO	18
3.2	DIMENSIONAMENTO E COMPONENTES DO RAS.....	19
3.2.1	Tanques de cultivo	19
3.2.2	Erro! Indicador não definido.....	21
3.2.3	Erro! Indicador não definido.....	21
3.2.4	Erro! Indicador não definido.....	23
3.2.5	Qualidade de água.....	23
3.3	BALANÇO DE MASSAS	23
3.4	VIABILIDADE ECONÔMICA	27
4	RESULTADOS	28
5	DISCUSSÃO.....	36
6	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A – CARTA DE PARCERIA.....	48
	APÊNDICE B – INVENTÁRIO.....	49
	ANEXO I – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA RECOMENDADOS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura vem apresentando crescimento significativo nas últimas décadas devido à crescente demanda por pescados e diminuição dos estoques pesqueiros naturais (FAO, 2024). A produção total provenientes da aquicultura já ultrapassou a captura e a pesca extrativista de peixes selvagens, especialmente devido à intensificação dos cultivos e ao uso de tecnologias avançadas de monitoramento e controle, além do avanço tecnológico de sistemas de produção modernos como os sistemas de recirculação, tratamento e reuso de água, que possibilitam o cultivo de grandes quantidades de peixes em espaços menores quando comparados aos sistemas de produção com tanques escavados no solo e fluxo aberto de troca de água (Somerville et al., 2014; Davison, 2018; Bregnballe, 2022).

Entretanto, o setor produtivo ainda enfrenta desafios como a poluição dos corpos d'água, e a contaminação dos recursos hídricos, especialmente pelo excessivo uso de antibióticos e pesticidas nos cultivos, principalmente quando se trata de cultivos em sistemas abertos (Valenti et al., 2000; Ferri et al., 2018). A cadeia produtiva está buscando reduzir as externalidades e os impactos ambientais negativos, melhorar o bem-estar dos animais cultivados e minimizar o uso de recursos naturais, como água e insumos (Batista, 2022; Associação Brasileira da Piscicultura, 2024). Assim, a sustentabilidade tem se tornado uma preocupação importante na aquicultura.

Do ponto de vista do mercado consumidor há aumento na demanda por alimentos produzidos de forma sustentável e responsável (FAO, 2024). Desta forma, diversas organizações e certificações estão estabelecendo padrões e critérios para garantir a rastreabilidade e a sustentabilidade no setor, sendo que essas exigências têm sido impulsionadas por inovações em áreas como genética de animais aquáticos, nutrição, saúde animal e monitoramento (Ferri et al., 2018; Associação Brasileira da Piscicultura, 2024). Essas inovações têm o potencial de melhorar a produtividade, a eficiência e a sustentabilidade da aquicultura (Valenti et al., 2000).

Dentre os sistemas de produção aquícolas que preconizam pela sustentabilidade, a aquaponia se destaca por integrar o cultivo de peixes e o cultivo de plantas em um único sistema, sendo os resíduos dos peixes utilizados como nutrientes para as plantas, e essas, ajudam a limpar a água para os peixes (Rakocy & Bailey, 2003; Rakocy et al., 2011; Goddek et al., 2019; Pinho, 2022). Isto favorece

a otimização de recursos naturais como água, insumos, fertilizantes e uso de terra, que são as principais vantagens da utilização desta tecnologia de produção integrada de alimentos (Timmons & Ebeling, 2010; Ferri et al., 2018; Cerozi, 2020).

No Brasil, a produção aquapônica é uma prática relativamente nova, mas tem crescido em popularidade nos últimos anos (Carneiro et al., 2015). Ainda assim, é um setor em desenvolvimento que enfrenta desafios em conhecimento técnico, regulamentação, infraestrutura, e falta de mão de obra qualificada e outros (David et al., 2022). Ainda que existam algumas iniciativas e projetos de aquaponia no país, a produção comercial ainda é limitada, restrita a pequenos produtores, pesquisadores e entusiastas do assunto (Emerenciano et al., 2015; Lenz et al., 2017; Pinho et al., 2022; Cerozi, 2022; Flores et al., 2022). Um marco recente no Brasil foi a criação da Associação Brasileira de Aquaponia, uma entidade sem fins lucrativos, que visa organizar e dar suporte técnico e científico aos diferentes atores do setor. Todas estas iniciativas demonstram o potencial crescimento da produção aquapônica no país, especialmente em áreas urbanas onde há demanda crescente por alimentos (Emerenciano et al., 2016).

Existem três tipos básicos de sistemas para produção vegetal aquapônica: sistema de fluxo constante de água (*Continuous Flow System*), sistema de fluxo de água intermitente (*Flood and Drain System*) e sistema de fluxo de água alternado (*Alternating Flood and Drain System*) (Lennard & Leonard, 2006; Somerville et al., 2014; Goddek, 2019). Cada um destes apresenta vantagens e desvantagens, e para escolher o sistema mais adequado devem ser considerados diversos fatores, como disponibilidade de espaço, recursos disponíveis, espécie vegetal a ser produzida, escala de produção, entre outros. Uma pesquisa internacional identificou o perfil dos produtores comerciais de aquaponia e revelou que os componentes hidropônicos mais utilizados pelos produtores, 77% dos entrevistados adotaram o *floating raft*, 76% *media bed*, 29% bancadas hidropônicas, 29% torres verticais, 6% *wicking bed* e 5% *Dutch buckets* (LOVE et al., 2015).

Os sistemas de aquaponia podem ainda ser classificados em dois tipos principais: acoplados e desacoplados (Goddek et al., 2019). Em resumo, os sistemas acoplados combinam os peixes e as plantas em um único ambiente, enquanto os sistemas desacoplados mantêm os peixes e as plantas separados, tratando e filtrando a água antes de distribuí-la para as plantas. Os principais componentes de um sistema

aquapônico são: tanques de peixes, sistema de filtragem física e biológica, sistema hidropônico, motobomba, oxigenador e, em alguns casos, substrato para as plantas (Somerville et. al., 2014; Timmons & Ebeling, 2010; Goddek, 2019).

Segundo Love et al. (2015), os produtores aquapônicos entrevistados em sua pesquisa relataram que a tilápia é a principal espécie de peixe produzida, correspondendo a 69% dos entrevistados, seguida de peixes ornamentais (43%) e bagre (25%), além de outros animais (18%); sendo que 30% dos entrevistados declaram produzir três ou mais espécies de organismos aquáticos. Com relação às plantas produzidas e comercializadas, o manjerição correspondeu a 81% das respostas, seguido de hortaliças folhosas (76%), outras ervas (73%), tomates (68%), alface (68%), couve kale (56%), beterraba (55%) e pimentas (48%).

O desempenho produtivo e a viabilidade econômica dos sistemas de aquaponia vêm sendo estudados em diversos países há aproximadamente três décadas (McMurtry et al., 1997; Chaves et al., 1999, Rakocy & Bailey, 2003; Lennard, 2006; Love et al. 2015; Bosma et al., 2017; Asciuto et al., 2019; Pinho et. al., 2022). A avaliação do desempenho dos organismos cultivados, custos de implantação, custos operacionais, e das receitas provenientes da venda da produção são fundamentais para a implantação de um RAS que apresente viabilidade econômica em determinada região (Engle, 2015).

Financeiramente, a implantação de um sistema aquapônico em escala comercial demanda operações de capital intensivo, pois a escalabilidade do negócio requer alto investimento inicial para construção da infraestrutura, aquisição de equipamentos para tratamentos de efluentes, treinamento da equipe e protocolos de manejo (Bosma et al., 2017; Goddek et al., 2019). As despesas operacionais são expressivas e envolvem custos fixos como aluguel, depreciação, juros de empréstimos se houver e custos variáveis com ração dos peixes, energia elétrica, mão de obra, sementes, insumos, alevinos e/ou juvenis, marketing, logística, entre outros (Castilho-Barros, 2020; Pinho, 2022).

O dimensionamento do RAS deve levar em consideração fatores como o período de crescimento dos animais, as necessidades do sistema para suportar a biomassa final estipulada, volumes necessários dos equipamentos, entre outros (Davison, 2018; Peruch, et al., 2021). A análise produtiva deve considerar os índices

zootécnicos e fitotécnicos como peso médio inicial e final, densidade de estocagem, taxa de sobrevivência, conversão alimentar, produtividade total, duração dos cultivos, entre outros. E a análise econômica deve contemplar o investimento, os custos operacionais, fluxo de caixa, taxa interna de retorno, valor presente líquido, retorno de capital, ponto de equilíbrio, entre outros (Castilho-Barros, 2020).

Análises econômicas de produção são fundamentais para o desenvolvimento da aquaponia no Brasil, pois permitem uma avaliação mais robusta sobre um empreendimento aquapônico. Isso inclui análises de investimento, projeção de receitas e despesas, determinação do preço de venda, identificação de oportunidades e dificuldades de mercado, entre outros aspectos relevantes. Também são importantes para atrair investidores, financiamento e incentivos governamentais para o setor, sendo essenciais no embasamento de políticas públicas e programas de incentivo que promovam o desenvolvimento sustentável da produção de alimentos e redução do impacto ambiental da produção agrícola, sendo fundamental para o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil.

A proximidade do mercado consumidor e a demanda populacional favorecem e possibilitam a oferta de alimentos frescos e a comercialização de proteínas e vegetais saudáveis ao consumo humano, especialmente com utilização de sistemas produtivos que preconizam os recursos econômicos, sociais e ambientais conforme as pautas da ONU e da agenda 2030, atendendo os requisitos e objetivos do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, o presente estudo é justificado por desenvolver uma análise técnica e econômica da implantação de um sistema de aquaponia em escala comercial, visto que no cenário brasileiro esta tecnologia de produção ainda é incipiente, especialmente quando inseridas em grandes centros urbanos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar o estudo de viabilidade técnica e econômica na produção integrada de tilápia (*Oreochromis niloticus*), hortaliças e tomate cereja (*Lycopersicum solanum var. cerasiforme*) em sistema de aquaponia comercial de água doce implantado em área urbana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Projetar um sistema de recirculação de aquaponia otimizado em relação a eficiência no uso de recursos e mínimo descarte de efluentes.
- b) Verificar a viabilidade técnica e econômica da produção aquapônica utilizando metodologia do balanço de massas e dados reais de produção.
- c) Simular cenários de produção para identificação de potencialidades e riscos econômicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

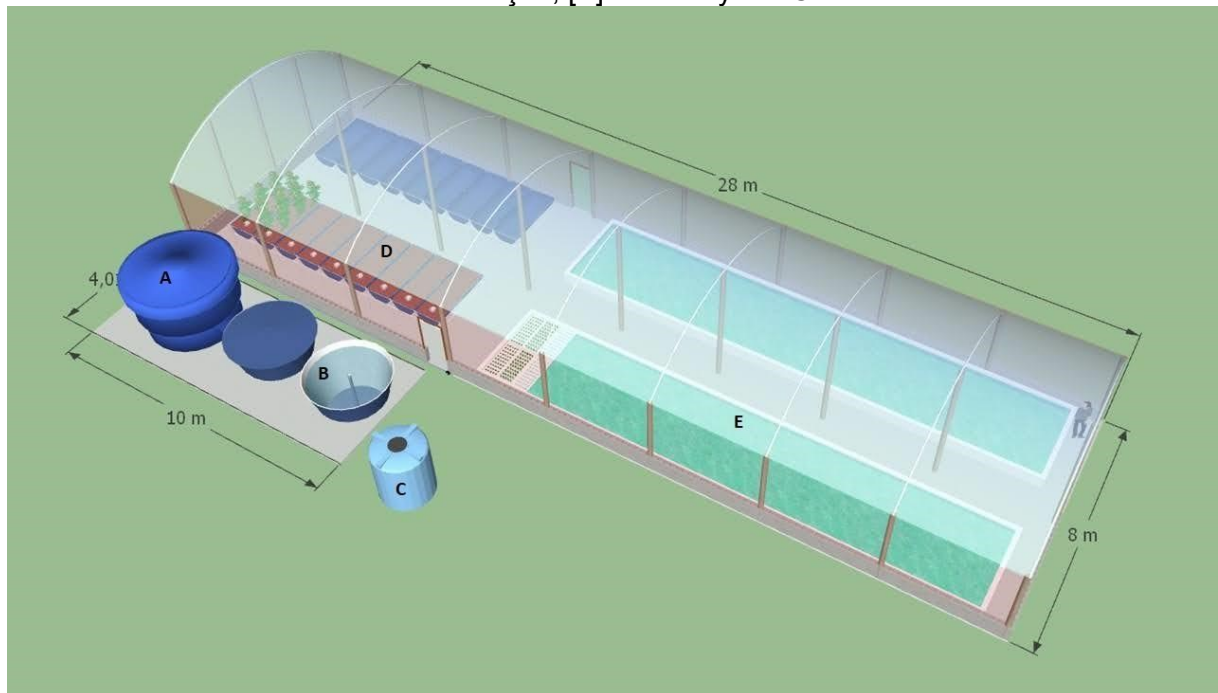
Trata-se de uma pesquisa exploratória aplicada, um estudo de caso de uma fazenda comercial projetada e implantada em 2018 pelo CEPIA - Centro de Produção Integrada e Aquaponia. O *layout* do sistema de aquaponia estudado foi desenvolvido para atender uma produção comercial de hortaliças, tilápia-do-nilo e vegetais na área urbana da cidade de Florianópolis, Santa Catarina/SC (27° 35' 48" S e 48° 32' 57" W). Os índices zootécnicos, fitotécnicos e financeiros da produção integrada são oriundos dos produtores aquapônicos parceiros deste projeto (Apêndice I). Foram analisados os dados reais da produção desta fazenda aquapônica durante os anos de 2018 a 2020.

A unidade consiste em um sistema de aquaponia acoplado, composto pelo setor de piscicultura, com tanques de cultivo, cisterna de captação e armazenamento de águas pluviais, decantador radial, caixa equalizadora, um cultivo protegido para produção vegetal com um setor de biofiltração, *raceways* "DWC", sala de máquinas equipada com gerador de energia a gasolina e soprador de ar. As plantas e imagens 3D foram feitas no software SketchUp 2018.

3.1 LAYOUT DO MÓDULO PRODUTIVO

O módulo produtivo de 336 m² de área total é composto pelo setor de piscicultura com dois tanques de cultivo totalizando 10 m³, uma cisterna de captação e armazenamento de águas pluviais de 10 m³, um decantador radial de 0,5 m³, uma caixa equalizadora de 2 m³, um cultivo protegido para produção vegetal de 224 m², e o setor de biofiltração e tratamento de efluentes que ocupa 35 m², sendo composto por 18 cochos de PEAD (35x85x228 cm cada), dois *raceways* "DWC" (96 m²) de concreto usinado (16x3x0,4 m cada) e uma sala de máquinas equipada com gerador a gasolina e soprador de ar (Figura 1). O cultivo protegido foi coberto com lona plástica transparente 150 µm de espessura, para manter a temperatura da água tão constante quanto possível, em aproximadamente 28°C para evitar oscilações bruscas, características da região. O fechamento lateral foi coberto com tela Chromatinet Mono Vermelha 30%.

Figura 1 - Layout e componentes do RAS. [A] Cisterna de captação e armazenamento de águas pluviais, [B] Tanques de cultivo de peixe, [C] Decantador cilindro-cônico, [D] Biofiltração, [E] Raceway DWC.



3.2 COMPONENTES E DIMENSIONAMENTO DO RAS

O projeto do sistema aquapônico foi inspirado no modelo da Universidade das Ilhas Virgens (UVI), proposto por Rakocy et al. (2011). Os componentes e os dimensionamentos propostos no presente estudo foram adaptados para o contexto urbano no qual o projeto foi inserido, permitindo modificações futuras, caso sejam relevantes para aumentar a eficiência do sistema produtivo. Consiste em um sistema de recirculação aquícola fechado, com volume total de 54 m^3 , taxa de recirculação constante e descarte mínimo de efluentes.

3.2.1 Tanques de cultivo de peixe

Dois tanques de cultivo de fibra de vidro, com volume de 5 m^3 cada foram alocados e equipados com sistema de aeração, utilizando-se como difusores, mangueira microporosa com 25 mm de diâmetro. A coluna d'água apresenta movimentação constante em fluxo circular, promovida pela tubulação de entrada de água nos tanques. No centro dos tanques foi adotado o sistema "overflow" para drenagem e captura de sólidos, com tubulação de PVC (interna=50 mm e externa=75 mm), de forma que os resíduos são automaticamente retirados do fundo e encaminhados ao sistema de tratamento.

A espécie cultivada foi a tilápia do nilo, variedade GIFT. Os peixes foram adquiridos da empresa Piscicultura Panamá. A estratégia de produção adotada em cada lote de peixes povoados é o cultivo em um único tanque, do povoamento até os animais atingirem 300 g cada, e após esta etapa foram divididos em 2 tanques até o momento da despesca.

Um tanque de cultivo foi povoado com 1.500 juvenis de tilápia com peso médio inicial de 20 gramas por animal, e comprimento médio inicial entre 10-12 cm, compondo uma biomassa inicial 30 kg, sendo a densidade de estocagem inicial de 6 kg/m³. A despesca foi realizada quando os animais atingiram o peso médio individual de 600 g, sendo o ciclo de produção calculado em 12 meses de cultivo. Foram realizadas 3 biometrias durante o ciclo de produção para ajuste do arraçoamento.

Na fase juvenil os peixes foram alimentados com ração comercial peletizada (3-5 mm) contendo 38% de proteína bruta (PB), sendo a taxa de arraçoamento inicial de 4% da biomassa e a dieta oferecida 4 vezes ao dia. Calculou-se que o ganho de peso diário de cada animal nesta fase de cultivo será entre 1,0-1,5 g/d. Desta forma cada indivíduo recebeu em média 1,29 gramas de ração por dia, com uma taxa de conversão alimentar média (FCR) de 1,1:1 (quilos de peso vivo por quilos de alimento consumido). Sendo assim, houve um aporte médio de ração de aproximadamente 1,2 kg/d nos tanques de cultivo.

Na fase final de crescimento, calculou-se que os animais apresentam aproximadamente um peso médio entre 300 g, compondo uma biomassa de 418 kg, e densidade de estocagem de 79,5 kg/m³. Nesta etapa do cultivo a taxa de arraçoamento utilizada será 1,5% da biomassa, utilizando-se ração comercial contendo 32% PB e a quantidade final de ração aportada diariamente no sistema era de aproximadamente 6,3 kg, com estimativa média de FCR de 1,2:1.

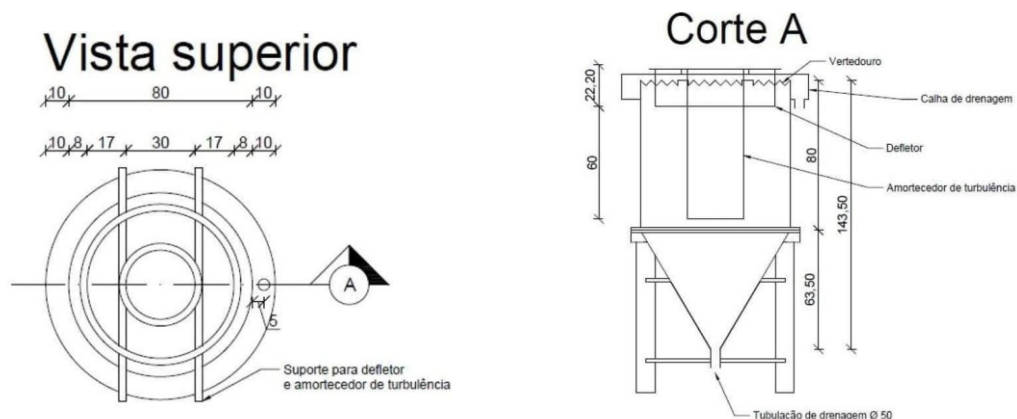
Na fase de engorda a biomassa total de peixes foi dividida em dois tanques. Nesta etapa os animais foram alimentados com ração comercial contendo teor de 28% PB, com dieta ofertada 2 vezes ao dia. A taxa de arraçoamento utilizada será 1% da biomassa, com FCR aparente de 1,3:1. A quantidade final de ração aportada diariamente nos tanques no final deste ciclo foi de 8,37 kg. Considerando uma taxa de mortalidade total do cultivo de 12%, foram despescados 1.325 animais, totalizando 795 kg de peso vivo, e densidade de estocagem final de 79,5 kg/m³.

Portanto, a carga máxima que o sistema de aquaponia deverá suportar é uma quantidade de ração de 8,37 kg/d. Esta taxa foi o ponto básico, ou seja de base, sendo o parâmetro mais importante a ser utilizado no balanço de massas do presente estudo.

3.2.2 Decantador radial

Os dejetos dos peixes e os restos de alimento não consumidos são direcionados para o decantador radial, cuja principal função é a separação por gravidade líquido-sólido. Este equipamento foi construído de fibra de vidro com volume total de 500 L (Figura 2), dimensionado para receber os dejetos oriundos dos dois tanques de cultivo simultaneamente. Esse, pode suportar uma carga máxima diária de 2,3 kg de sólidos suspensos totais (TSS), dos quais somente 50% são sólidos decantáveis, cujo tamanho de partículas é maior que 100 μm .

Figura 2 - Vista superior e Corte A do decantador. Projeto: Paulo Bentos.



A eficiência considerada deste equipamento no tratamento de água é de 30% e a sedimentação do material particulado pode variar de acordo com a taxa de carregamento e o tempo de retenção hidráulica dentro do decantador.

A operação de limpeza do equipamento foi realizada duas vezes ao dia, ou seja, uma purga de drenagem da matéria orgânica sedimentada, a fim de evitar processos predominantes de decomposição anaeróbia, que são indesejáveis ao sistema de recirculação.

3.2.3 Biofiltração

O sistema utilizado foi o modelo de biorreatores de leito fixo (Figura 3). A vantagem principal deste modelo é que o material suporte exerce duas funções

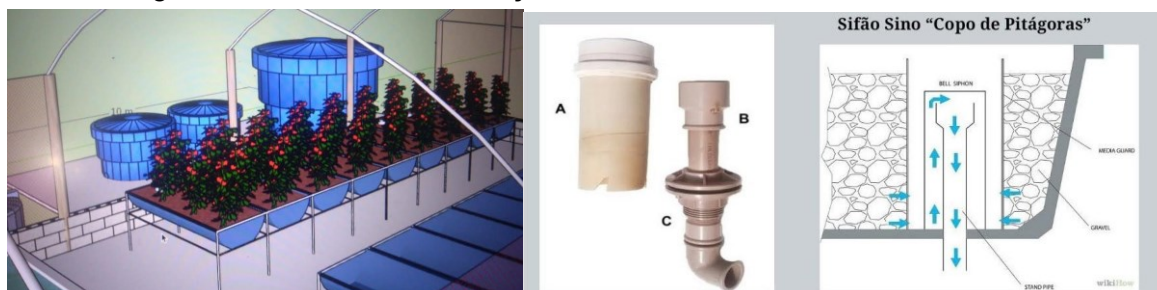
simultaneamente: [1] suporte para formação do biofilme bacteriano e [2] suporte de raízes para o crescimento de plantas.

O material suporte utilizado foi misto, composto de argila expandida na parte superior, brita 3 na parte média e casca de ostra na parte inferior. A área de superfície específica (ASE) foi de $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Somerville et al., 2014). A maturação dos biofiltros foi realizada durante 40 dias antes do povoamento dos tanques.

O processo de colonização das bactérias nos biorreatores de leito fixo, se fez de forma espontânea. Para a maturação ocorrer de forma segura e controlada foram introduzidos nos *raceways* 15 exemplares adultos da espécie *Hypostomus affinis*, para produzirem uma quantidade de amônia inicial no sistema de recirculação, servindo como substrato para a colonização bacteriana iniciar o processo de ciclagem de nutrientes e se estabelecer no material suporte dos biorreatores. O progresso da maturação é monitorado medindo os níveis de nitrogênio na água dos cultivos. A etapa de maturação termina quando os níveis de nitrato começam a aumentar constantemente, o nível do nitrito é 0 mg/L , e da amônia inferior a 1 mg/L . (Somerville et al., 2014).

O sistema hidráulico dos biorreatores apresentou funcionamento de fluxo ascendente e descendente, ou seja, é um sistema de subirrigação com ciclos de inundação e drenagem periódicos, controlados automaticamente com a utilização de um sifão do tipo sino “Copo de Pitágoras” (Figura 3). Cada biorreator opera de forma independente, e o abastecimento de água funcionou com uma taxa de fluxo constante, variando entre $0,45\text{-}0,50 \text{ m}^3$ por hora.

Figura 3 - Sistema de biofiltração e funcionamento hidráulico do sifão sino.



O tomate cereja foi a espécie cultivada nos biorreatores. A densidade de cultivo foi de 11 plantas por metro quadrado. A capacidade produtiva foi de aproximadamente 415 kg de frutos por ciclo de produção (90 dias) em uma área total de 35 metros

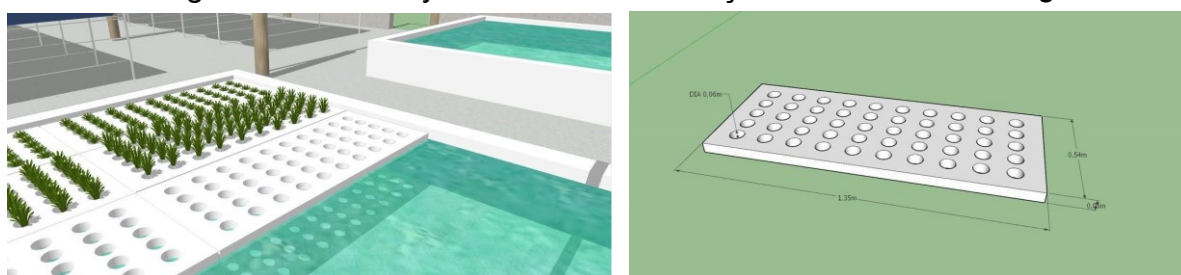
quadrados, assim a produtividade média foi de 11,8 kg/m², considerando uma taxa de sobrevivência de 90%.

3.2.4 Raceways

Dois tanques de concreto usinado, com dimensões individuais de 16x3x0,4 m (comprimento, largura e altura, respectivamente) foram construídos para o cultivo das hortaliças folhosas em sistema *deep water culture* (DWC), no qual a produção vegetal é realizada sobre placas flutuantes de poliestireno extrudado 2,5 mm de espessura, com dimensões de 1,20x0,60 m de largura (Figura 4).

Foram equipados com sistema de aeração de fundo, utilizando-se como difusores mangueira microporosa (25 mm de diâmetro), espaçadas a cada 40 cm de distância. A movimentação da água opera sob regime de fluxo laminar constante, proveniente da drenagem de saída de água dos biorreatores.

Figura 4 - Raceway de cultivo de hortaliças em sistema *floating*.



A capacidade de produção total de hortaliças folhosas foi de 5.440 unidades por mês em uma área de 96 metros quadrados, sendo 1.200 cabeças de alface, 1.000 maços de salsa, 1.000 maços de cebolinha e 1.240 maços de agrião da terra. O ciclo produtivo médio estimado é de 28 dias, sendo a densidade média de 56,7 plantas por metro quadrado.

3.2.5 Qualidade de água

Foram estabelecidos, no presente estudo, valores de referência segundo a recomendação de Somerville et al. (2014), como níveis adequados de parâmetros de qualidade da água para cultivo dos organismos aquáticos, tais como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, concentrações de amônia total e nitrito (Anexo I).

3.3 BALANÇO DE MASSAS

Existem diversas formas de dimensionar um sistema de recirculação. Para isso, muitas variáveis e coeficientes são considerados, como a produção de amônia, de

dióxido de carbono e de sólidos suspensos totais, assim como o consumo de oxigênio pelos peixes e pelas bactérias. No dimensionamento deste sistema foi adotada a metodologia do balanço de massa estático, descrita por Timmons e Ebeling (2004).

Segundo a literatura 1 kg de ração gera consumo de 500 g de oxigênio, carga de 250 g de sólidos totais, aporte de 30 g de amônia no sistema e 680 g de dióxido de carbono (Timmons & Ebeling, 2004). Foram calculados os seguintes índices técnicos: demanda de oxigênio (kg/d), a produção de amônia (kg TAN/d), a produção do dióxido de carbono (kg CO₂/d), e a produção de sólidos totais (kg TSS/d), utilizando as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$\text{Demanda de oxigênio} = \left(\frac{\text{kg ração}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{0,50 \text{ kg oxigênio}}{\text{kg ração}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Produção de amônia} = \left(\frac{\text{kg ração}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{0,35 \text{ kg proteína}}{\text{kg ração}} \right) \left(\frac{0,092 \text{ kg TAN}}{\text{kg proteína}} \right) \quad (2)$$

$$\text{Produção de carbono} = \left(\frac{\text{kg ração}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{0,50 \text{ kg oxigênio}}{\text{kg ração}} \right) \left(\frac{1,375 \text{ kg dióxido de carbono}}{\text{kg oxigênio consumido}} \right) \quad (3)$$

$$\text{Produção de sólidos totais} = \left(\frac{\text{kg ração}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{0,25 \text{ kg TSS}}{\text{kg ração}} \right) \quad (4)$$

Partindo do pressuposto que os dois tanques de cultivo são compartilhados em um único sistema de tratamento, a água de todo o sistema será homogênea no decorrer do tempo com uso de recirculação constante. O aporte de ração de 8,37 kg/d no sistema aquapônico produz diariamente 0,27 kg de amônia, 5,75 kg de dióxido de carbono, 2,09 kg de sólidos suspensos totais e consumo de 4,19 kg de oxigênio (peixes e microorganismos).

A taxa de fluxo hidráulico necessária para os manter os parâmetros na qualidade de água desejáveis ao cultivo foi calculada conforme equação dada:

$$Q = P \div (C_{\text{desejável}} - C_{\text{out}})$$

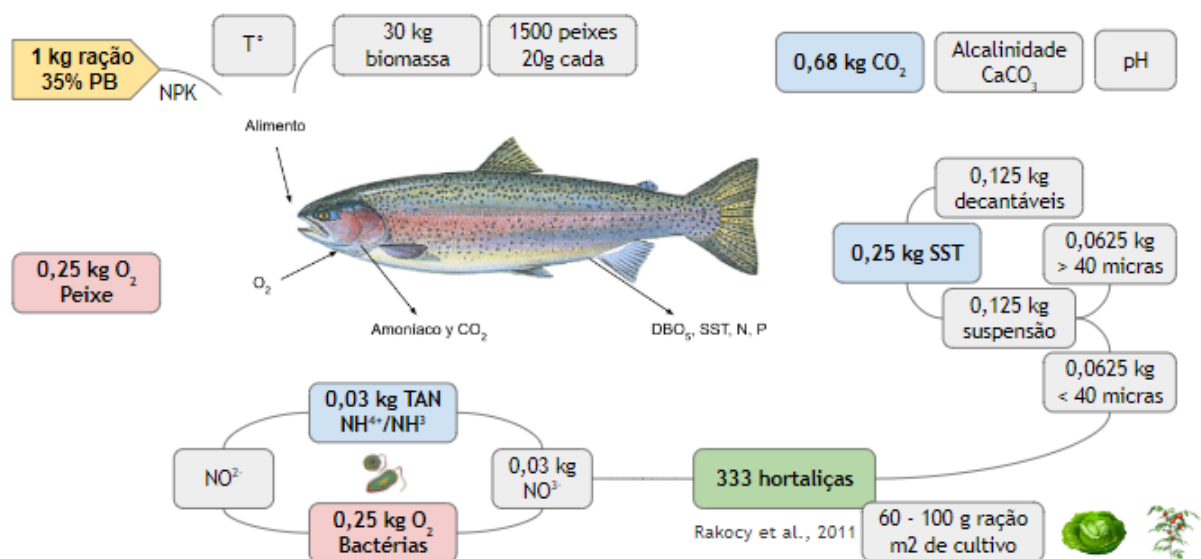
Nesta equação, 'Q' representa a vazão calculada necessária para manter o parâmetro na qualidade desejável. A variável 'P' significa a carga de determinado parâmetro produzida por dia. A variável 'C_{desejável}' representa a concentração do parâmetro de qualidade de água desejável no tanque. A variável 'C_{out}' significa a concentração do parâmetro na saída do tanque, considerando a eficiência do equipamento de tratamento de água.

$$C_{out} = C_{in} + \frac{T}{100}(C_{best} - C_{in})$$

Nesta equação, a variável 'Cout' significa a concentração do parâmetro calculado na saída do tanque, a variável 'Cin' representa a concentração do parâmetro na entrada do tanque, a variável 'T' significa a eficiência do equipamento de tratamento, em remoção de amônia, *stripping* de dióxido de carbono e remoção de sólidos totais, e transferência de oxigênio; e a variável 'Cbest' é a concentração de saturação do parâmetro considerando a temperatura do cultivo.

O fluxograma do balanço de massas (Figura 5) demonstra a dinâmica dos parâmetros avaliados na água dos cultivos, podendo variar consideravelmente, devido a fatores como temperatura, pH, alcalinidade, teor de proteína bruta na ração entre outros.

Figura 5 - Fluxograma do balanço de massa estático. Adaptado de Timmons e Ebeling (2010).



O biofiltro remove $0,3 \text{ g / (m}^2\text{·d)}$ de amônia (Kubitza, 2006). Assim, a área mínima de material suporte no biofiltro deve ser $273 \text{ g / } 0,3 \text{ g} = 910 \text{ m}^2$. Utilizando argila expandida (tipo 2215 miúda) com área específica de $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Somerville et al., 2014) nos biofiltros, o volume total do material suporte deve ser de $3,64 \text{ m}^3$ ($910 \text{ m}^2 / 250 \text{ m}^2/\text{m}^3$). No caso do uso de brita, que têm área de superfície específica de $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$, o volume de material suporte no biofiltro deve ser de $6,06 \text{ m}^3$.

O sistema de biofiltração totalizou 7,2 m³ de volume correspondentes aos biorreatores. O material suporte ocupou entre 70-80% do volume total, portanto a

quantidade total de material suporte utilizada foi de 3,5 m³ de argila expandida e 1,2 m³ de brita e 1,0 m³ de casca de ostra, ou seja, 5,7 m³ de volume útil para a colonização de bactérias e enraizamento das plantas de tomate.

Segundo Bregnballe (2022), a alcalinidade na água do RAS deve preferencialmente variar entre 70-200 mg/L de carbonatos (CaCO₃). Vale mencionar que a nitrificação no biofiltro consome 7 g de alcalinidade para cada grama de amônia convertida em nitrato. Em contraste, o processo de desnitrificação produz aproximadamente 3,5 g de CaCO₃ por grama de nitrato convertido em gás nitrogênio (N₂). O processo de remoção de CO₂ também consome alcalinidade, pois o carbono é continuamente removido do sistema por este processo. Portanto a alcalinidade do sistema foi controlada com utilização de calcário dolomítico (CaMg(CO₃)₂), contudo outras moléculas podem ser utilizadas para repor o cálcio ao sistema, como por exemplo, hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e/ou carbonato de potássio (K₂CO₃).

Dos 2,1 kg de sólidos totais/dia, 1,05 kg são sedimentáveis (partículas >100 µm) e 1,05 kg são sólidos em suspensão (<100 µm), ou seja, 1,05 kg de sólidos, são removidos por dia pelo decantador, e o restante direcionado aos biorreatores.

O sistema de aeração por ar difuso (sopradores e difusores), pode incorporar cerca de 0,3 kg O₂/HP/hora (Kubitza, 2006). Portanto, em funcionamento contínuo, cada HP de potência do sistema incorpora 7,2 kg/d de oxigênio (0,3 kg/HP/h x 24h). Para repor os 4,19 kg de oxigênio consumidos será necessário um equipamento de 0,63 HP. Além disso, um sistema de *backup* foi dimensionado para os casos de falta de energia elétrica. Em sistemas de recirculação o tempo crítico para acionamento do *backup* pode variar dependendo da carga de peixe estocada nos tanques. Kubitza (2006) exemplificou o tempo máximo para acionamento do gerador elétrico considerando por exemplo que tilápias de 100 g consomem cerca de 0,2 g de O₂/kg/h. Se um tanque está estocado com 10 kg/m³ e o fornecimento de água e aeração é interrompido, em uma hora serão consumidos 2 g de oxigênio/m³. Se o oxigênio inicial no tanque estava em 6 mg/L (6 g/m³) e poderia chegar até um nível crítico de 2 mg/L (2 g/m³), podem ser consumidos até 4 g/m³. Assim, o tempo máximo para o acionamento do “backup” será de 2 horas.

3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a avaliação econômica do empreendimento aquapônico foram obtidos os indicadores fitotécnicos e zootécnicos, o investimento com máquinas, equipamentos e benfeitorias necessárias para a implantação do sistema, as despesas operacionais e as receitas obtidas na produção integrada.

Para estimar o custo anual de produção, utilizou-se a metodologia de Custo Operacional Total (COT) proposta por Matsunaga et al. (1976), constituído pelo Custo Operacional Efetivo (COE), que incluem gastos com mão de obra, ração, energia elétrica, materiais, aquisição de juvenis, mudas de plantas, insumos, taxas e impostos, combustível, logística, manutenção de máquinas e despesas eventuais. Somado ao COE tem-se a depreciação e remuneração da mão de obra familiar, que determina Custo Operacional Total (COT). Para o uso da metodologia, os valores monetários foram obtidos em pesquisa de mercado no mês de outubro/2023.

Para determinar a rentabilidade do negócio, foi utilizada a metodologia descrita por Martin et al. (1998) com os seguintes parâmetros: Receita Bruta (RB), que é o rendimento da produção multiplicado pelo preço de venda do produto; Margem Bruta (MB), que mede a diferença entre a RB subtraindo o COE; Lucro Operacional (LO), que é o resultado da diferença entre a RB e o COT; o Índice de Lucratividade (IL), que é a razão entre LO e RB, expresso em porcentagem. IL é um indicador importante que mostra o saldo de receita disponível após o pagamento do custo operacional total; e o Ponto de Nivelamento (PN), que é o indicador que demonstra o volume de venda necessário para pagar o COE e o COT.

Finalmente, a fim de avaliar os riscos financeiros do projeto, uma análise de sensibilidade foi realizada com base em dois cenários distintos: (a) variações no preço de varejo por unidade de hortaliças comercializadas, ou seja, R\$2,50 simulando um cenário ruim, R\$3,00 como preço de referência, R\$3,50 simulando um cenário ótimo, mantendo estável o preço da tilápia praticado no mercado brasileiro em R\$8,00/kg e R\$15,00/kg de tomate (b) duas perdas de toda produção de hortaliças na 24ª semana e na 40ª semana do primeiro ano.

4 RESULTADOS

O inventário detalhado necessário para implementar o sistema de produção aquapônico está detalhado no Apêndice II. As benfeitorias totalizaram um montante de R\$65.926,46. Sendo os itens de maior valor a construção do cultivo protegido totalizou R\$24.385,17, dois raceways para a produção de hortaliças totalizou R\$12.513,50, o sistema de biorreatores de leito fixo para produção dos tomates e tratamento biológico da água totalizou R\$8.170,00, os dois tanques de cultivo dos peixes totalizaram R\$6.005,64 e além desses, um tanque equalizador e uma cisterna de armazenamento de água pluvial totalizou R\$6.525,81.

As máquinas e equipamentos totalizaram um montante de R\$29.736,24. Uma sonda multiparâmetros (YSI Pro20) foi orçada em R\$12.850,00 para aferir os parâmetros da água dos cultivos. A aquisição do conjunto de motobombas totalizou R\$3.000,00 e o conjunto de sopradores de ar R\$5.000,00.

Um montante no valor de R\$20.000,00, aproximadamente 17% do total investido no negócio foi cobrado para pagamento do projeto, dimensionamento e acompanhamento técnico especializado durante a implementação.

Com base nas características de um módulo de aquaponia projetado para pequenas áreas, com locação de um terreno de 500 m² em Florianópolis, cujo valor do aluguel foi de R\$1.500,00 por mês.

O Custo Operacional Total foi calculado com base em 12 meses de cultivo e o critério adotado para rateio destes custos foi a porcentagem de faturamento de cada produto, sendo 3,07%, 11,99% e 84,94% para tilápias, tomates e hortaliças, respectivamente, com exceção das mudas, juvenis, ração e as guias de despesa, os quais são despesas exclusivas de cada uma das atividades produtivas.

A mão de obra consistiu de um técnico responsável pela produção, um funcionário contratado de nível médio e um funcionário eventual para auxiliar na colheita, plantio e manejo do sistema. Estes três itens resultaram em 31,6% do COE.

A energia elétrica representou 7,3% das despesas operacionais efetivas (Tabela 1). Prevendo possíveis interrupções no fornecimento e quedas de energia que poderiam comprometer a produção integrada, um sistema de *backup* foi instalado, com capacidade de geração de energia de 2,4 kVa no valor de R\$2.500,00 (Apêndice II).

A logística e o custo do combustível para a entrega dos produtos vendidos foi calculada considerando que o produtor não dispõe de veículo próprio, e não será responsável por este serviço, representando 13% do COE. Estes custos podem ser repassados ao produtor, caso disponha de veículo próprio e deseje assumir este serviço.

Tabela 1 - Custo operacional total (COT) do empreendimento aquapônico.

Itens	Especificações	Qtde	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Tilápia (R\$)	Tomate (R\$)	Hortaliças (R\$)	Part (%)
Mão de obra + encargos sociais	1 salários mínimo	12	1.886,28	22.635,36	693,92	2.714,41	19.227,04	13,3
Mão de obra eventual	Diária	48	150,00	7.200,00	220,73	863,42	6.115,86	4,2
Assistência técnica	Mensal	12	2.000,00	24.000,00	735,75	2.878,05	20.386,20	14,1
Aluguel	Mensal	12	1.500,00	18.000,00	551,81	2.158,54	15.289,65	10,6
Energia elétrica (kWh)	Mensal	21.600	0,57	12.376,80	379,43	1.484,21	10.513,16	7,3
Água (m³)	Mensal	516	2,33	1.202,28	36,86	144,18	1.021,25	0,7
Marketing digital e propaganda	Mensal	12	500,00	6.000,00	183,94	719,51	5.096,55	3,5
Despesas administrativa	Mensal/Contador	12	500,00	6.000,00	183,94	719,51	5.096,55	3,5
Logística	Entregador	12	1.320,00	15.840,00	485,60	1.899,51	13.454,89	9,3
Combustível entregas (L)	Anual	1.200	5,25	6.300,00	193,13	755,49	5.351,38	3,7
Combustível gerador elétrico (L)	Anual	60	5,25	315,00	9,66	37,77	267,57	0,2
Mudas de tomate cereja	Unidade	1.536	2,00	3.072,00		3.072,00		1,8
Mudas de hortaliças folhosas	Unidade	65.280	0,20	13.056,00			13.056,00	7,7
Juvenis de tilápia	Unidade 10-12 cm	1.500	0,75	1.125,00	1.125,00			0,7
Ração onívora Saco de 25 kg	2 - 4 mm (38% PB)	2	112,25	197,63	6,06	23,70	167,87	0,1
	4 - 6 mm (32% PB)	10	89,23	880,42	26,99	105,58	747,85	0,5
	6 - 8 mm (28% PB)	25	71,00	1.778,71	54,53	213,30	1.510,88	1,0
Calcário dolomítico	Saco 25 kg	200	0,16	32,00	0,98	3,84	27,18	0,0
Hidróxido de cálcio	kg	4	100,00	400,00	12,26	47,97	339,77	0,2
Biodefensivos	Unidade	4	150,00	600,00	18,39	71,95	509,65	0,4
Quelato de ferro	kg	2	452,90	905,80	27,77	108,62	769,41	0,5
Taxas e impostos	Guia Despesa/GTA	1	445,00	445,00	445,00			0,3
Despesas eventuais	Desembolso	1%		1.423,62	53,92	180,22	1.189,49	0,8
Manutenção/reparos	Equip./benfeitorias	12	233,78	2.805,34	86,00	336,41	2.382,93	1,7
Custo Operacional Efetivo (A)			9.526,95	146.590,97	5.531,66	18.538,19	122.521,12	86,2
Depreciação (B)		12	598,72	7.184,59	220,25	861,57	6.102,77	4,2
Mão de obra familiar (C)	Mensal	12	1.350,00	16.200,00	496,63	1.942,68	13.760,68	9,5
COT	A + B + C		11.475,67	169.975,56	6.248,54	21.342,44	142.384,57	100,0

O COT foi calculado considerando os itens de despesa operacional efetiva, incluindo a depreciação e a mão de obra administrativa. Aproximadamente 6% do

COT representa a depreciação das benfeitorias e a manutenção de máquinas e equipamentos. Este custo não significa um desembolso imediato para o produtor, contudo, deve ser considerado para reposição de itens e reparos no sistema produtivo.

A mão de obra do produtor foi calculada em R\$1.350,00 por mês e corresponde a 9,5% do COT. Este custo remunera o trabalho e a dedicação administrativa na atividade e na tomada de decisões.

Para a aquisição de mudas de hortaliças e tomates na propriedade, os valores de R\$13.056,00 e R\$3.072,00 foram orçados como se o produtor tivesse que adquirir 65.280 e 1.536 unidades por ano, respectivamente. Estes custos representaram 9,5% das despesas operacionais efetivas (Tabela 1).

O custo de aquisição dos juvenis de tilápia foi calculado em R\$0,75 cada indivíduo entre 10-12 cm de comprimento, resultando em um total de R\$1.125,00, considerando somente uma compra de 1.500 juvenis por ano (Tabela 1).

Considerando 96 e 35 m² a área de produção das hortaliças e tomates, respectivamente, e uma taxa de 10% de mortalidade das plantas, o planejamento fitotécnico produtivo calculado é uma produção anual de 58.752 unidades de hortaliças e aproximadamente 1.659 kg de tomate (Tabela 2).

Tabela 2 - Planejamento fitotécnico produtivo.

Indicadores	Unidades	Hortaliças		Tomates	
		Mensal	Anual	Mensal	Anual
Área de produção	m ²	96	96	35	35
Produtividade média	kg			461	461
Produtividade média por planta	kg			1,20	1,20
Quantidade de mudas inicial	n°	5.440	65.280	384	1.536
Densidade de cultivo	plantas/m ²	57	57	11	11
Taxa de mortalidade	%	10	10	10	10
Quantidade de plantas final	n°	4.896	58.752	346	1.382
Produção total esperada	kg			414,70	1.658,90
Período de cultivo	meses	1	12	3	12,0

O planejamento zootécnico calculado estima que a biomassa final de peixes nos dois tanques de cultivo atinja aproximadamente 795 kg por ciclo de cultivo, ou seja, após 12 meses. Considerando uma taxa de mortalidade média de 12% calcula-se que sejam despescados aproximadamente 1325 tilápias, com peso médio final de

600 gramas cada indivíduo. Considerando 10 m³ o volume total para produção da tilápia, a densidade de estocagem final calculada foi de 79,52 kg/m³ (Tabela 3).

Tabela 3 - Planejamento zootécnico produtivo.

Parâmetros	Unidade	Juvenil	Crescimento	Engorda
Peso inicial	gramas	20,00	300,00	600,00
Peso final	gramas	300,00	600,00	
Tamanho inicial	cm	9,28	22,89	28,84
Tamanho final	cm	22,89	28,84	
Biomassa final nos tanques	kg	30,00	418,50	795,10
Densidade estocagem final	kg/m ³	83,70	79,52	79,52
Taxa de alimentação diária	% peso vivo	4,00	1,50	1,00
Quantidade final de ração	kg/dia	1,20	6,28	8,37
Conversão alimentar	kg peso vivo/kg ração	1,10	1,20	1,30
Período de cultivo	meses	5,63	5,63	11,26
Mortalidade	%	7,00	5,00	12,00

A quantidade total de ração necessário para o cultivo totalizou 925 kg, e o custo total foi de R\$2.856,76 por ciclo de produção de peixes (Tabela 1). Considerando uma conversão alimentar máxima de 1,3:1 (kg de peso vivo por kg de ração), foi calculado que o custo despendido com ração para cada quilograma de peixe produzido é de R\$3,59.

A metodologia do balanço de massas, adotada no presente estudo, forneceu base satisfatória para o dimensionamento de máquinas, equipamentos e indicadores técnicos, necessários ao planejamento do sistema aquapônico proposto. Através da quantidade de ração diária aportada no sistema aquapônico foram obtidas a carga de TAN, CO₂, TSS e O₂ produzida e a taxa de fluxo hidráulico ideal para controlar a concentração dos respectivos parâmetros desejáveis nos tanques dos peixes. Conforme a literatura, as taxas desejáveis para tilápia são 2 mg/L TAN, 20 mg/L CO₂, 10 mg/L TSS e 5 mg/L para O₂ (Timmons & Ebbeling, 2010). A eficiência de cada equipamento de tratamento de água foi de 35, 70, 50 e 50%, respectivamente (Tabela 4).

A carga produzida de TAN, CO₂, TSS e O₂ pelos animais nas três fases de cultivo foram calculadas com base na taxa de alimentação diária e no teor de proteína bruta contida na ração. Na fase de engorda a carga diária foi 0,27, 5,75, 2,09 e 4,19 kg, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Balanço de massas dos parâmetros desejáveis no tanque de cultivo, eficiência, produção, consumo e taxa de fluxo hidráulico requerido.

			Juvenil ¹	Cresc ²	Engorda ³	Juvenil ¹	Cresc ²	Engorda ³
	Desejáveis (mg/L)	Eficiência (%)	Produção e consumo (kg/dia)			Taxa de fluxo hidráulico (m ³ /h)		
TAN	2,00	35	0,04	0,20	0,27	2,30	12,03	16,04
CO ₂	20,00	70	0,83	4,32	5,75	2,52	13,17	17,57
TSS	10,00	50	0,30	1,57	2,09	2,50	13,08	17,44
O ₂	5,00	50	0,60	3,14	4,19	17,79	93,08	124,11

¹ Taxa de alimentação de 1,2 kg ração/dia, contendo 38% PB

² Taxa de alimentação de 6,2 kg ração/dia, contendo 32% PB

³ Taxa de alimentação de 8,3 kg ração/dia, contendo 28% PB

A taxa de fluxo hidráulico requerido para tratamento da água na fase de engorda foi o ponto chave para o dimensionamento deste estudo. Para manter os parâmetros na qualidade desejada foi determinada a vazão de 17 m³/h para o tratamento de TAN, CO₂ e TSS (Tabela 4).

Os indicadores econômicos foram calculados considerando um preço de venda por kg de R\$8,00 para tilápias, R\$15,00 para tomate e um preço de venda por unidade de R\$3,00 para as hortaliças.

O COE total calculado representa um montante de R\$146.590,97, o COT foi de R\$169.975,56 (Tabela 5). O COE por kg produzido foi de R\$6,96 e R\$11,18 e o COT foi de R\$7,86 e R\$12,87 para tilápia e tomate respectivamente. O COE por unidade de hortaliça produzida foi de R\$2,09 e o COT foi de R\$2,42.

A receita bruta total calculada foi de R\$207.500,40 por ano, sendo que 84,9% deste faturamento foi proveniente da venda das hortaliças, enquanto aproximadamente 12% da venda de tomate e 3,1% da venda de tilápia. A margem bruta calculada com a venda de todos os produtos foi de R\$60.909,43 por ano, enquanto o lucro operacional calculado por ano foi de R\$37.524,84 (Tabela 5).

O lucro operacional anual por metro quadrado foi maior para as hortaliças, seguido do tomate e da tilápia, sendo os resultados calculados de R\$100,81, R\$10,54 e R\$0,34, respectivamente. A lucratividade total obtida no final do primeiro ano de produção foi de 18%, sendo que para tilápia este índice foi de 2%, para o tomate foi de 14% e para as hortaliças um valor de 19% (Tabela 5).

Tabela 5 - Indicadores econômicos da produção aquapônica entre tilápia, tomate e hortaliças.

Indicadores	Unidade	Total	Tilápia	Tomates	Hortaliças
	% da receita bruta	100,00	3,07	11,99	84,94
Produção Esperada	kg ou un		795	1.659	58.752
Custo Operacional Efetivo	R\$/kg ou un		6,96	11,18	2,09
Custo Operacional Total	R\$/kg ou un		7,86	12,87	2,42
Preço Médio Comercialização	R\$/kg ou un		8,00	15,00	3,00
Receita Bruta (RB)	R\$/ano	207.500,40	6.361,20	24.883,20	176.256,00
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/ano	146.590,97	5.531,66	18.538,19	122.521,12
Custo Operacional Total (COT)	R\$/ano	169.975,56	6.248,54	21.342,44	142.384,57
Margem Bruta (RB-COE)	R\$/ano	60.909,43	829,54	6.345,01	53.734,88
Lucro Operacional (RB-COT)	R\$/ano	37.524,84	112,66	3.540,76	33.871,43
Lucratividade (L líquido/RB)	% por ano	18,00	2,00	14,00	19,00
Ponto de Nivelamento (COE)	kg ou unidades		691	1.236	40.840
Ponto de Nivelamento (COT)	kg ou unidades		781	1.423	47.462

Para cobrir o COE no primeiro ano de produção serão necessários produzir 691 kg de tilápia (vendida a R\$8,00/kg), 1.236 kg de tomate (vendido a R\$15,00/kg) e 40.840 hortaliças (vendidas a R\$3,00/un). Para cobrir o COT considerando os mesmos preços de comercialização serão necessários produzir 781 kg de tilápia, 1.423 kg de tomate e 47.462 hortaliças (Tabela 5).

Tendo em vista que as hortaliças apresentaram os melhores indicadores econômicos e que constituem a maior parte do faturamento do empreendimento aquapônico, devido ao maior volume de produção em comparação aos outros produtos, a análise de sensibilidade foi simulada com três preços de venda por unidade, sem alteração no preço de comercialização da tilápia e do tomate.

Estas variações no preço de comercialização das hortaliças afetaram diretamente todos os indicadores econômicos da produção. Considerando R\$3,00 por unidade como preço de referência, a receita bruta variou 16,7% para mais ou para menos, resultando em R\$146.880,00 por ano no pior cenário e R\$205.632,00 por ano no melhor cenário, afetando consequentemente a margem bruta, o lucro operacional e o índice de lucratividade das hortaliças (Tabela 6).

O COE e o COT variaram em média 2,4% para mais ou para menos, isto ocorreu porque o rateio dos custos de produção foi relacionado com a porcentagem de faturamento de cada produto, sendo as hortaliças responsáveis por 84,9% do

pagamento das despesas estes índices sofreram leves alterações, contudo variações no preço de comercialização não afetam diretamente o custo de produção (Tabela 6).

A margem bruta variou em média 49,5% para mais ou para menos, resultando em R\$27.555,24 por ano no pior cenário e R\$80.707,31 por ano no melhor cenário. O lucro operacional variou em média 76,9% para mais ou para menos, representando um montante de R\$8.272,48 por ano (preço de venda de R\$2,50 por unidade) e R\$60.407,19 por ano (preço de venda de R\$3,50 por unidade). Assim, o preço unitário mínimo de comercialização das hortaliças considerado lucrativo para o empreendimento é de R\$2,50, pois abaixo desse valor os resultados econômicos seriam negativos (Tabela 6).

Em comparação ao preço de referência o índice de lucratividade variou 70,7% no pior cenário, e 52,9% no melhor cenário, resultando em índices de 6% e 29%, respectivamente. Desta forma valores de comercialização inferiores a R\$2,50 poderiam comprometer seriamente o sucesso da atividade (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos da produção aquapônica considerando três preços de venda de hortaliças, mantendo R\$8,00/kg de tilápia e R\$15,00/kg de tomate.

Indicadores	Unidades	Preço de venda (R\$/un)		
		2,50	3,00	3,50
Receita Bruta (RB)	R\$/ano	146.880,00	176.256,00	205.632,00
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/ano	119.324,76	122.521,12	124.924,69
Custo Operacional Total (COT)	R\$/ano	138.607,52	142.384,57	145.224,81
Margem Bruta (RB-COE)	R\$/ano	27.555,24	53.734,88	80.707,31
Lucro Operacional (RB-COT)	R\$/ano	8.272,48	33.871,43	60.407,19
Índice de Lucratividade (L líquido/RB)	% por ano	6,00	19,00	29,00
Ponto de Nivelamento (COE)	kg ou unidades	47.730	40.840	35.693
Ponto de Nivelamento (COT)	kg ou unidades	55.443	47.462	41.493

O ponto de nivelamento do COE e do COT variou em média 14,7% para mais ou para menos, dependendo do preço de venda das hortaliças. Para cobrir o COE anual será necessário produzir 47.730 unidades (vendido por R\$2,50/un) e 35.693 unidades (vendidas por R\$3,50/un). Com relação ao COT será necessário produzir 55.443 unidades no pior cenário e 41.493 unidades no melhor cenário (Tabela 6).

Levando em consideração fatores externos e inesperados que poderiam comprometer a produção e consequentemente o sucesso da atividade, foi simulada

uma análise de sensibilidade dos indicadores econômicos do empreendimento aquapônico com a ocorrência de um ou mais eventos de perda de ciclo produtivo das hortaliças. Os resultados demonstram uma redução na receita bruta de 7,1% para cada ciclo mensal de hortaliças perdido durante o ano, resultando em um montante anual de R\$192.812,40 (com 1 perda) e R\$178.124,40 (com 2 perdas). Considerando que o COE e o COT não apresentam alterações significantes no valor anual, pois a única despesa adicional seria a compra de novas mudas, os demais indicadores são afetados diretamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos considerando a perda total de dois meses da produção de hortaliças por ano.

Indicadores	Unidades	Nº de perdas na produção das hortaliças		
		0	1	2
Receita Bruta (RB)	R\$/ano	207.500,40	192.812,40	178.124,40
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/ano	146.590,97	146.590,97	146.590,97
Custo Operacional Total (COT)	R\$/ano	169.975,56	169.975,56	169.975,56
Margem Bruta (RB-COE)	R\$/ano	60.909,43	46.221,43	31.533,43
Lucro Operacional (RB-COT)	R\$/ano	37.524,84	22.836,84	8.148,84
Índice de Lucratividade (L líquido/RB)	% por ano	18,00	12,00	5,00

A margem bruta reduziu 24,1% para cada ciclo de hortaliças perdido, reduzindo o montante anual em R\$14.688 em cada evento de perda. O lucro operacional teve reduções percentuais ainda maiores, com 39,1% para cada ciclo perdido, resultando em um prejuízo anual idêntico à margem bruta. Consequentemente o índice de lucratividade diminuiu em 34,5% para cada ciclo perdido, assim, a ocorrência de mais de dois eventos de perda de ciclos produtivos das hortaliças poderia comprometer seriamente a lucratividade anual do empreendimento aquapônico (Tabela 7).

5 DISCUSSÃO

Foram investidos R\$115.662,69 para implementação de um sistema aquapônico de 336 m², sendo que o custo de investimento por metro quadrado foi de R\$ 344,23. O valor de construção deste sistema de recirculação para aquaponia foi de 57% do investimento total. Em um estudo de viabilidade financeira com alface e tilápia, Tokunaga et.al (2015) relataram um alto custo de investimento em torno de US\$217.078,00 para um sistema de 1.142m². Os custos com investimentos demonstram que iniciar um negócio aquapônico por ser significativamente oneroso, contudo bastante variável, dependendo das características de cada projeto, a escolha de espécies de peixes e plantas, o tamanho do empreendimento e escala produção, a escolha dos equipamentos, entre outros (Bosma et. al, 2017;).

A construção do cultivo protegido representou 21,1% do investimento total. Os raceways representaram 10,8%, assim como os tanques de criação, captação e cisterna pluvial. O sistema de biofiltração e decantação representaram 8,7%. Por fim, a hidráulica representou 2,9%. Em máquinas e equipamentos foram investidos R\$29.736,24, representando 26% do investimento total. A produção de plantas em sistemas sem solo tem altos custos e requer tecnologia avançada (Palm et. al, 2018; Junge et. al., 2017). Segundo David et al. (2022) o tipo de material utilizado nas estruturas aquapônicas apresentaram a maior influência na demanda total de energia em sistemas aquapônicos. Tais descobertas justificam os altos custos de implantação deste sistema produtivo.

O dimensionamento do balanço de massas revelou que todos os parâmetros físico-químicos da qualidade de água dos cultivos serão controlados dentro das taxas desejáveis. Apesar do memorial de cálculo indicar que seria necessária uma taxa de fluxo hidráulico de 124 m³/h para suprir o consumo de O₂ pelos organismos, adotou-se na prática pela utilização de sopradores de ar (tipo *blower*), para fornecimento de oxigênio adicional nos tanques de cultivo dos peixes e nos raceways de produção das hortaliças, sem que houvesse prejuízos no desempenho zootécnico das tilápias e fitotécnico das plantas.

A taxa de arraçoamento final foi de 1% da biomassa total de peixes presente nos tanques de cultivo, resultando em 8,3 kg de ração oferecida diariamente aos peixes. Tendo em vista que o empreendimento proposto apresenta uma área plantada de hortaliças de 96 m², em sistema DWC, a relação de 0,086 kg/m², encontrada no

presente estudo corrobora com a proporção relatada em outros estudos (Rakocy, 2012; Somerville et. al., 2014). Estes autores concluíram que a relação diária ideal entre a oferta de ração e a área plantada para produção de hortaliças foi entre 0,040 - 0,100 kg/m².

Das despesas operacionais efetivas a mão de obra foi a mais significativa, representando 32% do custo operacional total, sobretudo por se tratar de mão de obra altamente qualificada e assistência técnica especializada, sem considerar a logística. Os resultados do presente estudo corroboram com Tokunaga et al. (2015). Estes autores argumentam que os custos de mão-de-obra necessários para a aquicultura podem atingir um terço dos custos totais de produção. Analisando este resultado sob a ótica social, um sistema aquapônico implantado em centros urbanos, é uma atividade capaz de criar oportunidades de empregos com uso de mão de obra local, oferecendo capacitação e qualificação de funcionários para lidar com os altos níveis de tecnologia empregados neste sistema de produção. Segundo Somerville et. al. (2014) promove inclusão social e educação ambiental, revelando-se uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios sociais, educacionais e ambientais contemporâneos, desempenhando um papel crucial na construção de comunidades mais resilientes e sustentáveis em todo o mundo.

A dependência energética do empreendimento aquapônico é demonstrada através das despesas com energia elétrica, que representaram aproximadamente 7% do COE. Isto se deve às máquinas, especialmente as motobombas e os aeradores, que funcionam ininterruptamente em período de 24 horas por dia, podendo representar um gargalo deste sistema produtivo. Entretanto, um estudo que avaliou a sustentabilidade de fazendas urbanas de aquaponia revelou que a eletricidade representa baixa influência na demanda total de energia, reforçando a idéia de que sistemas de aquaponia apresentam maior eficiência que sistemas de aquicultura convencionais (David et. al, 2022). Além disso, a adoção de estratégias como utilização de energias renováveis, por exemplo o uso da energia solar, pode reduzir e mitigar essa dependência energética proporcionando maior autonomia, estabilidade e sustentabilidade na produção aquapônica (Goddek et. al, 2015).

Outro gargalo identificado neste estudo foi o custo com a locação de terra, que representou 10,6% do COE. Por se tratar de ambiente urbano, a especulação imobiliária de terras pode ser um fator limitante para o empreendimento proposto na cidade de Florianópolis. Muitas vezes a escalabilidade de um empreendimento pode ser fator preponderante para que investidores decidam investir neste modelo de

negócio. O aumento de escala do negócio aquapônico pode resultar em economia de escala, e consequentemente aumento da rentabilidade da empresa. Entretanto, análises econômicas devem ser detalhadas para determinar os indicadores econômicos deste projeto, operando em áreas maiores.

A análise de custos demonstrou um baixo COE e COT para produção da tilápia quando comparado a outros sistemas produtivos, resultando em R\$6,96 e R\$7,86/kg, respectivamente. Em um estudo de avaliação mensal do custo de produção do monocultivo da tilápia em duas regiões de Santa Catarina, Casaca et. al (2022) relataram um COE de R\$6,39 e um COT de R\$6,88/kg para o cultivo desta espécie em viveiros de terra escavados com uso de aeradores. Tendo em vista que o rateio dos custos do presente estudo foi realizado com base no faturamento de cada produto, os resultados alcançados foram possíveis devido às receitas provenientes da comercialização de hortaliças assumirem 83,5% do montante relacionado aos COE e COT.

Sistemas de recirculação aquícola convencionais, projetados para monocultivos de tilápia, resultam em custos com arraçoamento elevados (Bregnballe, 2022; Davison, 2018). O sistema aquapônico proposto no presente estudo demonstrou que a produção integrada de tilápias com hortaliças pode diminuir os custos operacionais da produção dos peixes, em sistemas de RAS convencional. Segundo Cerozi et al. (2022) a aquaponia poderia viabilizar o RAS convencional no Brasil, pois a receita obtida pelo subcomponente de criação de peixe neutraliza os custos da ração e da energia elétrica. Isto ocorre porque a aquaponia pode reduzir o problema existente da baixa eficiência do manejo alimentar da aquicultura tradicional, porque transformam os resíduos da produção de peixes em biomassa vegetal, além de minimizar o descarte de efluentes para o ambiente natural (David et. al, 2022; Goddek, 2019, Somerville et. al., 2014).

O custo por unidade de hortaliças produzida no sistema aquapônico foi de R\$2,09 (COE) e R\$2,42 (COT), e resultou em um índice de lucratividade de 19%. Esta margem é significativamente inferior se comparada a outro sistema de produção, como a hidroponia. Freitas et. al (2016) relataram uma margem líquida de 46% por unidade de hortaliças produzidas em sistema hidropônico, em Florianópolis. A diferença de lucratividade entre um sistema de hidroponia e o sistema aquapônico proposto neste estudo pode ser explicada através das distintas características entre

os dois sistemas de produção, pois o nível de tecnologia empregado em aquaponia, com máquinas, equipamentos e sistemas de filtração, é muito distinto da hidroponia. Entretanto, a importância em se manter produções vegetais onde há o aproveitamento dos nutrientes presentes na água de cultivo dos animais, está relacionado principalmente à redução dos custos com a aquisição de adubos que compõem a produção vegetal (Hu et al., 2015).

A margem bruta, o lucro operacional e o índice de lucratividade do presente estudo estão diretamente relacionados com o preço de comercialização dos produtos, especialmente das hortaliças que apresentam maior volume de produção e de receita bruta. As variações de preço no mercado de hortaliças podem se dar por fatores mercadológicos como disponibilidade de produtos em determinadas épocas do ano, relação de oferta e demanda, regionalidade, perfil do mercado consumidor, entre outros (Love, 2015; Pinho, et. al 2022). No presente estudo simulamos as variações de preço com base em diferentes estratégias de comercialização, sendo o preço de R\$2,50 o modelo de negócio *business to business* (B2B), ou seja, venda dos produtos para outros revendedores tais como mercearias, mercados locais, hortifruti e outros. O preço de R\$3,50 representa o modelo de negócio *business to consumer* (B2C), ou seja, venda dos produtos direto para o consumidor final, restaurantes, lanchonetes e outros estabelecimentos. Tendo como referência um preço médio de R\$3,00 por hortaliça comercializada, o lucro operacional anual do sistema resultou em um montante de R\$37.524,84 o equivalente a R\$111,68 por metro quadrado. Esses resultados revelam rentabilidade desde o primeiro ano de atividade, demonstrando que o sistema proposto é um empreendimento atrativo e viável economicamente.

A análise de sensibilidade que considera diferentes preços de comercialização das hortaliças, revela que valores inferiores a R\$2,50 podem inviabilizar o empreendimento aquapônico, visto que aproximadamente 84% da receita bruta é proveniente da venda das plantas. Considerando as perdas na produção de hortaliças a análise de sensibilidade revelou que 2 perdas por ano, de toda a produção, é o máximo aceitável para que o negócio aquapônico resulte em lucro anual mínimo. Isto representa 16,6% de mortalidade de plantas. Neste caso, a ocorrência de eventos extremos podem reduzir a lucratividade do negócio de 18% para 5% ao ano, representando risco financeiro ao sistema de produção. Valenti et al. (2010) afirmam que devido às grandes incertezas que cercam as diferentes cadeias produtivas

aquícolas, a manutenção ou aumento da capacidade de um determinado sistema de produção em adaptar-se a uma eventual má fase do setor, pode ser decisiva para a permanência na atividade.

A compra de mudas representou aproximadamente 10% do COE. Este custo é bastante significativo e totalizou um custo anual de R\$16.128,00. Como estratégia de redução destes custos, a aquisição de sementes de qualidade e a produção das mudas na propriedade poderia resultar em aumento nos lucros anuais do empreendimento proposto. Além disso, não há na região empresa especializada na produção de mudas aquapônicas, e há pouca diversificação das variedades oferecidas no mercado local de mudas. Além disso, investir na produção de materiais genéticos diferenciados, a fim de agregar valor ao produto final oferecido aos consumidores, pode ser uma boa estratégia no posicionamento de mercado, visando nichos de comercialização especializados em uma gastronomia gourmet, como principal público alvo, a exemplo de restaurantes e bistrôs. Bosma et. al (2017) afirmaram que a adoção de boas estratégias mercadológicas podem otimizar os lucros deste sistema de produção, podendo ser fator determinante para o sucesso da atividade.

Apesar dos riscos inerentes à produção, a escolha das espécies vegetais utilizadas neste empreendimento resultou em boa rentabilidade para o sistema proposto, especialmente se a comercialização dos produtos atender a nichos de mercado específicos, fazendo com que resultados econômicos do sistema aquapônico sejam melhorados, considerando o enorme mercado consumidor da cidade, dispostos a pagar preços mais elevados por hortaliças e vegetais frescos e saudáveis, especialmente aqueles produzidos sem utilização de agrotóxicos.

Com relação a espécie de peixe escolhida neste estudo, optou-se pela produção da tilápia devido à sua rusticidade e adaptação ao cultivo intensivo, além da boa aceitação do mercado consumidor na região, podendo ser vendida com facilidade para diversos estabelecimentos locais, através de cadeias curtas de comercialização, atendendo principalmente à restaurantes e consumidores finais, demonstrando a viabilidade do cultivo apesar da baixa rentabilidade.

No entanto, caso seja necessário, é possível adotar outras estratégias produtivas para aumentar a rentabilidade dos peixes no sistema aquapônico. A produção de espécies de corte, como a tilápia, poderia ser substituída por espécies ornamentais, para fins de aquariofilia, lagos paisagísticos e outros mercados, cuja comercialização é realizada com base no preço individual de cada animal, que pode

ser muito superior ao preço por kilo praticado para espécies de corte. Contudo uma análise técnica, financeira e mercadológica deve ser conduzida para esclarecer os riscos e a viabilidade da utilização de outras espécies no sistema projetado.

Além disso, tratando-se de um sistema multitrófico, o incremento de mais uma espécie no sistema proposto poderia resultar em aumento de produtividade e de rentabilidade deste modelo de negócio. Diversos estudos relatam a viabilidade técnica do cultivo do camarão branco do pacífico (*Litopenaeus vannamei*) em águas com baixa salinidade (<1 ppt) utilizando balanço iônico controlado (Green, 2007; Jayasankar, 2009; Zacarias et al., 2018). Os resultados obtidos por estes autores demonstram a viabilidade da integração de mais um organismo aquático no sistema de aquaponia proposto no presente estudo. Entendemos que, por se tratar de uma espécie detritívora, o cultivo de *L. vannamei* pode ser desenvolvido nos raceways, embaixo das placas de hortaliças, sem comprometer o desempenho dos peixes e das plantas, aumentando eficiência, a diversidade e a produtividade do sistema aquapônico, podendo ocasionar aumento da rentabilidade e da lucratividade.

Segundo Knowler (2020) a literatura científica sobre a economia de sistemas multitróficos tem se concentrado predominantemente sobre o viés financeiro, que é fundamental para a atividade produtiva, mas que ignora a ampla gama de benefícios sociais e de serviços ecossistêmicos ambientais associados ao modelo de produção multitrófico. Contudo Valenti et al. (2010) desenvolveram métodos para medir a sustentabilidade da aquicultura e argumentam que a principal característica de uma produção sustentável é que se assume que a natureza é finita, descartando o crescimento sem limites, característico da economia clássica. Este autor conclui que o desafio para se construir uma aquicultura realmente sustentável, passa por um aprendizado contínuo e pela capacidade de criar sistemas capazes de responder às mudanças ambientais, sociais e econômicas que ainda estão por vir.

O sucesso do empreendimento aquapônico estudado está intrinsecamente relacionado às características gerais deste projeto. Diversas variáveis como: a escolha da espécie de peixes e plantas, o tamanho do empreendimento, a escala de produção, a escolha dos equipamentos, o modelo de negócio, o controle dos riscos financeiros, são determinantes para a viabilidade e rentabilidade desta atividade ao longo dos anos. Entretanto, elementos de sustentabilidade podem fornecer uma visão complementar, através das ferramentas de análise sobre a viabilidade ambiental e social, para auxiliar na tomada de decisão do produtor ou investidor.

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram a viabilidade técnica e econômica do sistema aquapônico proposto, revelando ser uma atividade rentável e promissora para a produção de alimentos em áreas urbanas, atendendo à demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes. A viabilidade deste sistema produtivo é para além de índices técnicos, produtivos e econômicos, e engloba diversos benefícios ambientais e sociais. Embora alguns desafios ainda precisem ser superados, o resultado desta pesquisa apresenta uma solução inovadora e viável para o futuro da agricultura urbana, alinhada aos princípios de desenvolvimento sustentável e às metas da agenda global para 2030.

O uso da metodologia do balanço de massas se mostrou eficiente e capaz de fornecer base satisfatória para solucionar dúvidas sobre o dimensionamento de máquinas, equipamentos e indicadores técnicos como cargas de oxigênio, sólidos totais, dióxido de carbono e amônia, que são fundamentais ao planejamento de sistemas aquapônicos comerciais. No entanto, mais ferramentas se fazem necessárias para analisar a dinâmica de outros elementos minerais, além dos nitrogenados, tais como o fósforo, potássio, cálcio e o ferro. Além disso sugerimos que novos estudos sejam desenvolvidos para determinar a viabilidade ambiental e social do sistema proposto, sendo ferramentas importantes para auxiliar na tomada de decisão e para compreender a eficiência no uso do nitrogênio e do fósforo, potencial de eutrofização, desenvolvimento da economia local, uso de energia, dependência de água, entre outros.

Ademais, este estudo colabora com informações valiosas sobre a aquaponia e sua viabilidade financeira no contexto urbano e sugere que novas pesquisas podem ser realizadas para testar o desempenho de outras espécies de organismos aquáticos e vegetais, bem como o desenvolvimento de tecnologias multitróficas, incluindo a integração do camarão do pacífico no mesmo sistema proposto. Sobretudo, destacamos boas oportunidades para implementação de novos empreendimentos aquapônicos, em escala comercial, no Brasil.

REFERÊNCIAS

ASCIUTO, Antonio; SCHIMMENTI, Emanuele; COTTONE, Carlo; BORSELLINO, Valeria. A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 38, p. 397-402, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2019.02.001>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário PEIXE BR 2024**. São Paulo: Texto Comunicação Corporativa, 2024. 63 p.

BATISTA, João Marcos Monteiro. **Técnicas sustentáveis para o uso de água na produção de peixes**. Visão Acadêmica, [S.L.], v. 23, n. 2, abr. 2022.

BAILEY, D.S.; RAKOCY, J.E.; COLE, W.M.; SHULTZ, K.A. 1997. Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. In: Tilapia aquaculture: **Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture**, Orlando, Florida, pp. 603–612.

BISWAS, Gouranga; KUMAR, Prem; GHOSHAL, T.K.; KAILASAM, M.; DE, Debasis; BERA, Aritra; MANDAL, Babita; SUKUMARAN, Krishna; VIJAYAN, K.K.. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) outperforms conventional polyculture with respect to environmental remediation, productivity and economic return in brackishwater ponds. **Aquaculture**, [S.L.], v. 516, p. 734626, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734626>.

BOSMA, Roel H.; LACAMBRA, Lysette; LANDSTRA, Ynze; PERINI, Chiara; POULIE, Joline; SCHWANER, Marie J.; YIN, Yi. The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. **Aquacultural Engineering**, [S.L.], v. 78, p. 146-154, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.002>.

BREGBALLE, Jacob. **A Guide to Recirculation Aquaculture**: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. 3. ed. Rome: FAO and Eurofish International Organisation. 2022. 110 p. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2390en>

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; NUNES, M. U. C.; FUJIMOTO, R. Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. In: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. dos S. (Org.). **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. São Carlos: Pedro & João Editores, v. 2, 2015. p. 683–706.

CASACA, J. M.; SILVA, F. Q. Avaliação mensal do custo de produção do monocultivo de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) das regiões de Chapecó e Joinville em Santa Catarina. Chapecó: **Epagri**, 2022. 3 p.

CASTILHO-BARROS, Leonardo; ALMEIDA, Fábio H.; HENRIQUES, Marcelo B.; SEIFFERT, Walter Q.. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. **Aquaculture International**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 1187-1206, 4 jun. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-018-0277-8>.

CASTILHO-BARROS, L.; OWATARI, M.s.; MOURIÑO, J.L.P.; SILVA, B.C.; SEIFFERT, W.Q.. Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: a small-scale farm model. **Aquaculture**, [S.L.], v. 515, p. 734551, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734551>.

CEROZI, B. S.. Seria a aquaponia uma forma de viabilizar o RAS no Brasil?. **Panorama da Aquicultura**, p. 52 - 59, 01 dez. 2022.

CEROZI, Brunno da Silva. Fulvic acid increases iron bioavailability in aquaponic systems: theoretical designs and practical considerations to prevent iron deficiency in plants. **Aquacultural Engineering**, [S.L.], v. 90, p. 102091, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102091>.

CHAVES, P. A.; SUTHERLAND, R. M.; LAIRD, L. M.. An economic and technical evaluation of integrating hydroponics in a recirculation fish production system. **Aquaculture Economics & Management**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 83-91, abr. 1999. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13657309909380235>.

DAVID, Luiz H.; PINHO, Sara M.; AGOSTINHO, Feni; COSTA, Jesaias I.; PORTELLA, Maria Célia; KEESMAN, Karel J.; GARCIA, Fabiana. Sustainability of urban aquaponics farms: an emergy point of view. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 331, p. 129896, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129896>.

DAVISON, Andy. **Recirculating Aquaculture Systems**: a guide to farm design and operations. Seattle: Farmfish, 2018. 204 p.

EMERENCIANO, M.G.C.; MELLO, G.L.; MOLINARI, D.; PINHO, S.M.; BLUM, M.N. 2015 Aquaponia: uma alternativa de diversificação na Aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, 25: 24-35.

EMERENCIANO, M. ; PINHO, S. M. ; Carneiro, P. C. F. . Aquaponia no Brasil: o que o futuro nos aguarda?. **Aquaculture Brasil**, p. 36 - 41, 01 set. 2016.

ENGLE, C.R. 2015. Economics of aquaponics. **Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)**, Report number 5006

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**: blue transformation in action. Rome: Fao, 2024. 264 p. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.

FERRI, L. S.; ROCHA, W. S.; BRAZ FILHO, M. S. P. Tendências e tecnologias sustentáveis na aquicultura: recirculação, aquaponia e bioflocos. **Incaper em Revista**, v.9, p. 66-78, 2018.

FLORES, Roberto Manolio Valladão; PRECKEL, Paul V.; QUAGRAINIE, Kwamena; WIDMAR, Nicole Olynk; SILVA, Laura; COSTA, Jesaias Ismael da; PINHO, Sara M.; PORTELLA, Maria Célia; BRANCO, Thais Castelo; PEDROZA FILHO, Manoel Xavier. Efficiency tests for screening production strategies in a lettuce-juvenile tilapia aquaponics system in Brazil. **Aquaculture International**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 2403-2424, 9 jun. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-022-00912-9>.

FREITAS, M; ROSSI, R. F. R. Planejamento financeiro para um projeto de empresa de hidroponia de alface *Lactuca sativa* da variedade brunella: "Companhia AlfaCroC", Campeche, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 3., 2016, Florianópolis, SC. **Anais [...]** Florianópolis: UFSC, 2016. p.95-100.

GREEN, Bartholomew W. Stocking strategies for production of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in amended freshwater in inland ponds. **Aquaculture Research**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 10-17, 13 dez. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01849.x>.

HU, Zhen; LEE, Jae Woo; CHANDRAN, Kartik; KIM, Sungpyo; BROTTTO, Ariane Coelho; KHANAL, Samir Kumar. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 188, p. 92-98, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>.

GODDEK, Simon; JOYCE, Alyssa; KOTZEN, Benz; BURNELL, Gavin M.. **Aquaponics Food Production Systems**: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Cham: Springer Nature, 2019. 619 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

GODDEK, Simon; DELAIDE, Boris; MANKASINGH, Utra; RAGNARSDOTTIR, Kristin; JIJAKLI, Haissam; THORARINSDOTTIR, Ragnheidur. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. **Sustainability**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 4199-4224, 10 abr. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su7044199>.

JUNGE, Ranka; KÖNIG, Bettina; VILLARROEL, Morris; KOMIVES, Tamas; JIJAKLI, M.. Strategic Points in Aquaponics. **Water**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 182, 3 mar. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9030182>.

JAYASANKAR, Vidya; JASMANI, Safiah; NOMURA, Takeshi; NOHARA, Setsuo; HUONG, Do Thi Thanh; WILDER, Marcy N.. Low Salinity Rearing of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*: acclimation, survival and growth of postlarvae and juveniles. **Japan Agricultural Research Quarterly**: JARQ, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 345-350, 2009. Japan International Research Center for Agricultural Sciences. <http://dx.doi.org/10.6090/jarq.43.345>.

KNOWLER, Duncan; CHOPIN, Thierry; MARTÍNEZ- ESPÍÑEIRA, Rober; NEORI, Amir; NOBRE, Ana; NOCE, Anthony; REID, Gregor. The economics of Integrated Multi- Trophic Aquaculture: where are we now and where do we need to go?. **Reviews In Aquaculture**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 1579-1594, 27 jan. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12399>.

KUBITZA, Fernando. Sistemas de recirculação: sistemas fechados com tratamento e reuso da água. **Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 95, p.15-22, maio/jun. 2006.

LENNARD, Wilson A.; LEONARD, Brian V.. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. **Aquaculture International**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 539-550, 27 maio 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>.

LENZ, Guilherme Luis; DURIGON, Emerson Giuliani; LAPA, Katt Regina; EMERENCIANO, Maurício Gustavo Coelho. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. **Boletim do Instituto de Pesca**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 614-630, 15 dez. 2017. Boletim do Instituto de Pesca. <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p614>.

LOVE, David C.; FRY, Jillian P.; LI, Ximin; HILL, Elizabeth S.; GENELLO, Laura; SEMMENS, Ken; THOMPSON, Richard E.. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. **Aquaculture**, [S.L.], v. 435, p. 67-74, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>.

MARTIN, N.B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M.D.M.; ANGELO, J.A.; OKAWA, H. 1998 **Sistema integrado de custos agropecuários – CUSTAGRI**. Informações Econômicas 28(1):7–28

MCMURTRY, M. R.; SANDERS, D. C.; CURE, J. D.; HODSON, R. G.; HANING, B. C.; AMAND, E. C. St.. Efficiency of Water Use of an Integrated Fish/Vegetable Co-Culture System. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 420-428, dez. 1997. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00290.x>.

MATSUNAGA, M.; BERNELMANS, P.F.; TOLEDO, P.E.N. de; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I.A. 1976. Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA. **Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrí--cola**, 23(1): 123-139.

PALM, Harry W.; KNAUS, Ulrich; APPELBAUM, Samuel; GODDEK, Simon; STRAUCH, Sebastian M.; VERMEULEN, Tycho; JIJAKLI, M. Haïssam; KOTZEN, Benz. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. **Aquaculture International**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 813-842, 3 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>.

PERUCH, Luiz Guilherme Buglione; SILVA, Fabiano Muller; LAPA, Katt Regina. Dimensionamento de sistema de recirculação aquícola marinho piloto para engorda de peixes. **Agropecuária Catarinense**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 24-26, 29 abr. 2021. Empresa de Pesquisa Agropecuaria e Extensao Rural de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.52945/rac.v34i1.800>.

PINHO, Sara M.; FLORES, Roberto Manolio Valladão; DAVID, Luiz H.; EMERENCIANO, Maurício G.C.; QUAGRAINIE, Kwamena K.; PORTELLA, Maria Célia. Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems. **Aquaculture**, [S.L.], v. 552, p. 737987, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737987>.

PINHO, Sara M; LIMA, Jéssica P; DAVID, Luiz H; EMERENCIANO, Maurício G C; GODDEK, Simon; VERDEGEM, Marc C J; KEESMAN, Karel J; PORTELLA, Maria Célia. FLOCponics: the integration of biofloc technology with plant production. **Reviews In Aquaculture**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 647-675, 29 set. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12617>.

RAKOCY J., Bailey D.S 2003. Initial economic analysis of aquaponic systems. Extended abstract presented at the International conference Aquaculture Europe 2003 - Beyond Monoculture, Trondheim, Norway, **EAS Special Publication** n°33.

RAKOCY, J.; SHULTZ, R.C.; BAILEY, D.s.; THOMAN, E.s.. AQUAPONIC PRODUCTION OF TILAPIA AND BASIL: comparing a batch and staggered cropping system. **Acta Horticulturae**, [S.L.], n. 648, p. 63-69, fev. 2004. International Society for Horticultural Science (ISHS). <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.648.8>.

RAKOCY, J.E.; BAILEY D.S.; SHULTZ, R.C.; DANAHER, J.J. A 2011 Commercial-Scale Aquaponic System Developed at the University of the Virgin Islands. Agricultural Experiment Station University of the Virgin Islands. **Proceedings of the 9th International Symposium on Tilapia in Aquaculture**, p. 336í 443.

SHANG, Y.C. 1990. Aquaculture economics analysis: an introduction. In: Sandifer PA (ed) Advances in world aquaculture. **The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, p 211.

SOMERVILLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A.;LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589, p. I, 2014.

TIMMONS, M.B; EBELING, J.M. 2010 Recirculating aquaculture. 3rd ed. **NRAC Publication Cayuga Aqua Ventures**, Ithaca, NY, 975p.

TOKUNAGA, Kanae; TAMARU, Clyde; AKO, Harry; LEUNG, Pingsun. Economics of Small- scale Commercial Aquaponics in Hawai'i. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 20-32, fev. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12173>.

VALENTI, W.; POLI, C.R.; PEREIRA, J.A.; BORGHETT, J.R. 2000. **Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**. Ed. CNPq /Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, p. 399.

VALENTI, Wagner C.; KIMPARGA, Janaina M.; ZAJDBAND, Ariel David; Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura; Embrapa; **Panorama Da Aquicultura**; 218; 6-2010; 26-33

VALENTI, Wagner C.; KIMPARGA, Janaina M.; PRETO, Bruno de L.; MORAES-VALENTI, Patricia. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 88, p. 402-413, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>.

ZACARIAS, Simão; SCHVEITZER, Rodrigo; ARANTES, Rafael; GALASSO, Helena; PINHEIRO, Isabela; SANTO, Carlos Espirito; VINATEA, Luis. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in low-salinity water and a biofloc system. **Journal Of Applied Aquaculture**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 85-96, 29 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10454438.2018.1536009>.

APÊNDICE A – Carta de parceria

CARTA DE PARCERIA

O Centro de Produção Integrada e Aquaponia (CEPIA), Inscrição Estadual nº 01.465.643-4 e CNPJ nº 31.880.482/0001-45, apoia a pesquisa de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), intitulada: **Viabilidade técnica e econômica de um RAS multitrófico em aquaponia para produção comercial de camarão marinho, tilápia do nilo, hortaliças e vegetais**, e se dispõe a fornecer informações referentes à produção integrada da empresa situada em Florianópolis, sejam eles dados zootécnicos, fitotécnicos, financeiros e econômicos, para compor parte da dissertação do estudante Bruno Mellado Ornellas.

Florianópolis, 04 de novembro de 2022.



Documento assinado digitalmente

Bruno Mellado Ornellas

Data: 04/11/2022 14:14:29-0300

CPF: ***.753.178-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Centro de Produção Integrada e Aquaponia

APÊNDICE B – Inventário

Itens	Especificações	Qtde	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Vida Útil (Anos)	Deprecia ção (R\$)	Manutenção (R\$)
Construção cultivo protegido 224 m ²	Estacas de eucalipto tratado 11 mm	31	33,00	1 023,00	15	68,20	20,46
	Arcos de aço galvanizado 2 pol	9	325,00	2 925,00	15	195,00	58,50
	Tela Cromatinet mono vermelha 30%	100	18,30	1 830,00	15	122,00	36,60
	Perfis de mola	74	1,50	111,00	15	7,40	2,22
	Parafusos arruela e porcas	300	0,90	270,00	15	18,00	5,40
	Canaleta de perfis de mola	74	5,85	432,90	15	28,86	8,66
	Lona plástica transparente 150 micras (10 m largura)	33	48,72	1 607,76	15	107,18	32,16
	Bloco de concreto estrutural 14x19x29 cm, FBK 4,5 mpa un	600	4,25	2 550,00	15	170,00	51,00
	Areia grossa m ³	150	2,00	300,00	15	20,00	6,00
	Cimento portland pozolanico cp IV-32 kg	200	0,76	152,00	15	10,13	3,04
	Pedra britada N° 3 (38 A 50 mm) m ³	3	101,01	303,03	15	20,20	6,06
	Tela de aço soldada nervurada CA-60, Q-92, (1,48 kg/m ²), Diâmetro do fio = 4,2 mm, 11,52 Largura = 2,45 X 60 m de comprimento, espaçamento da malha = 15 X 15 cm (m ²)	224	11,52	2 580,48	15	172,03	51,61
Construção de raceways	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm m ³	20	515,00	10 300,00	15	686,67	206,00
	Tanques de concreto usinado 16x3x0,4 m	12	500,00	6 000,00	15	400,00	120,00
	Tábua de pinus tratada 20x0,3 m	152	17,50	2 660,00	15	177,33	53,20
	Brita 3/4 m ³	3	140,00	420,00	15	28,00	8,40
	Barra de PVC 75 mm 6m	2	63,00	126,00	25	5,04	2,52
	Conexões hidráulicas 75 mm	12	2,75	33,00	25	1,32	0,66
Tanques de cultivo	Placas de poliestireno extrudado 1200x600x25 mm	150	21,83	3 274,50	5	654,90	65,49
	Fibra de vidro 5 m ³	2	3 002,82	6 005,64	25	240,23	120,11
	Cisterna de captação de água pluvial						
	Fibra de vidro 10 m ³	1	5 262,38	5 262,38	25	210,50	105,25
Caixa equalizadora	Fibra de vidro 2 m ³	1	1 263,43	1 263,43	25	50,54	25,27
Tratamento de efluentes	Decantador cilindro-cônico fibra de vidro 500 L	1	1 873,00	1 873,00	20	93,65	37,46
Biofiltro	Cochos de PEAD (35x85x228 cm)	18	299,00	5 382,00	15	358,80	107,64
	Argila expandida (saco 50 L)	70	37,00	2 590,00	15	172,67	51,80

	Casca de ostra (caixa 100 L)	10	3,00	30,00	15	2,00	0,60
	Brita 3/4	1,2	140,00	168,00	15	11,20	3,36
Hidráulica	Tubulação de PVC 40/50 mm	4	40,00	160,00	25	6,40	3,20
	Tubulação de PVC "overflow" 75/100 mm	1	63,00	63,00	25	2,52	1,26
	Flange 40/50 mm	15	20,00	300,00	25	12,00	6,00
	Registro esfera PVC 40/50 mm	2	50,00	100,00	25	4,00	2,00
	Peças hidráulicas (Joelhos/União/"T"/"Y") 40/50 mm	25	10,00	250,00	25	10,00	5,00
	Barra PVC (esgoto) 6m 75 mm	7	84,00	588,00	25	23,52	11,76
	Barra PVC (soldável) 6m 50 mm	5	77,00	385,00	25	15,40	7,70
	Barra PVC (soldável) 6m 25 mm	15	20,00	300,00	25	12,00	6,00
	Flange 50 mm	5	16,00	80,00	25	3,20	1,60
	Flange 25 mm	20	9,00	180,00	25	7,20	3,60
	Adapador de Flange 50 mm	5	7,00	35,00	25	1,40	0,70
	Adaptador de Flange 25 mm	20	4,00	80,00	25	3,20	1,60
	Luva de redução 50-25 mm	5	12,00	60,00	25	2,40	1,20
	Joelho (esgoto) 75 mm	10	14,80	148,00	25	5,92	2,96
	Joelho (esgoto) 50 mm	12	3,92	47,04	25	1,88	0,94
	Conexão "T" (esgoto) 75 mm	2	25,00	50,00	25	2,00	1,00
	Luva de redução (esgoto) 50-75 mm	5	15,20	76,00	25	3,04	1,52
	Luva (esgoto) 75 mm	3	24,98	74,94	25	3,00	1,50
	Registro esfera PVC 25 mm	20	7,10	142,00	25	5,68	2,84
	Registro esfera PVC 50 mm	5	39,00	195,00	25	7,80	3,90
Outros - Itens que não foram descritos	5%			3 139,36	20	155,32	62,79
Benfeitorias sub-total				65 926,46		4 319,72	1 318,53
Instalação elétrica	Cultivo protegido	1	300,00	300,00	10	30,00	15,00
Conjunto							
Motobomba	17 m3/h	2	1 500,00	3 000,00	10	300,00	150,00
Soprador Tipo Blower	75 m3/h	2	2 500,00	5 000,00	10	500,00	250,00
Condutivímetro + termômetro		1	259,00	259,00	10	25,90	12,95
Mangueira microporosa (Rolo 50m)	25 mm	1	828,00	828,00	15	55,20	41,40
Gerador elétrico (Diesel/Gasolina)	2,5 kVa	1	2 500,00	2 500,00	30	83,33	125,00
Aerador venturi	25 mm	4	26,80	107,20	15	7,15	5,36
Oxímetro YSI	PRO20/Bernauer	1	12 850,00	12 850,00	10	1 285,00	642,50
Peagâmetro	pH mod. F-101/Bernauer	1	1 450,00	1 450,00	10	145,00	72,50
Kit análise de água	Alcalinidade/NH+3/NO-2	1	1 250,00	1 250,00	10	125,00	62,50
Passaguá para alevinos	Malha 12 mm Aro 40x50 1,53 m	2	48,78	97,56	5	19,51	4,88

Passaguá para adultos	Malha 25 mm Aro 40x50 1,50 m	2	56,37	112,74	5	22,55	5,64
Fita veda rosca	Rolo de 18 mm X 50 m (L X C)	2	16,22	32,44	10	3,24	1,62
Caixas plásticas empilhável	52 L	30	27,30	819,00	5	163,80	40,95
Outros - Itens que não foram descritos	5%			1 430,30	11	129,19	71,51
Máquinas e equipamentos sub-total				29 736,24		2 864,87	1 486,81
Projeto	Acompanhamento/implantação	1	20 000,00	20 000,00			
TOTAL				115 662,69	0,00	7 184,59	2 805,34

ANEXO A – Parâmetros de qualidade de água recomendados

Organism type	Temp (°C)	pH	Ammonia (mg/litre)	Nitrite (mg/litre)	Nitrate (mg/litre)	DO (mg/litre)
Warm water fish	22–32	6–8.5	< 3	< 1	< 400	4–6
Cold water fish	10–18	6–8.5	< 1	< 0.1	< 400	6–8
Plants	16–30	5.5–7.5	< 30	< 1	-	> 3
Bacteria	14–34	6–8.5	< 3	< 1	-	4–8