

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA  
CURSO DE ENGENHARIA DE AQUICULTURA

JOÃO MIGUEL O. CHRISTAKIS

**PROJETO PILOTO DE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA MANUTENÇÃO  
DE PEIXES ORNAMENTAIS MARINHOS DESTINADOS À EXPORTAÇÃO**

FLORIANÓPOLIS

2023

João Miguel O. Christakis

**PROJETO PILOTO DE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA MANUTENÇÃO  
DE PEIXES ORNAMENTAIS MARINHOS DESTINADOS À EXPORTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Aquicultura.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Katt Regina Lapa

Florianópolis

2023

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

Christakis, João Miguel Oliveira  
PROJETO PILOTO DE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA  
MANUTENÇÃO DE PEIXES ORNAMENTAIS MARINHOS DESTINADOS  
À EXPORTAÇÃO / João Miguel Oliveira Christakis ;  
orientadora, Katt Regina Lapa, 2023. 56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agrárias, Graduação em Engenharia de Aquicultura,  
Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Aquicultura. 2. Sistema de Recirculação  
Aquícola . 3. Peixes Ornamentais. 4. Piscicultura Marinha.  
I. Lapa, Katt Regina . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia de Aquicultura. III.  
Título.

João Miguel O. Christakis

**PROJETO PILOTO DE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA MANUTENÇÃO  
DE PEIXES ORNAMENTAIS MARINHOS DESTINADOS À EXPORTAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de bacharelado em Engenharia de Aquicultura e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Aquicultura

Florianópolis, 09 de novembro de 2023

---

Prof. Marcos C. P. de Albuquerque Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. <sup>a</sup> Katt Regina Lapa, Dr. <sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Ane Felice Frâncio de Medeiros, Dr. <sup>a</sup>  
Luteus Aquarium Ltda

---

Eliziane Silva Vieira, Me.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, avós e toda minha família, por seu amor incondicional, apoio constante e opinião em meu potencial. Vocês são a base de tudo que conquistei e representam a força que me impulsionou até aqui.

À minha querida namorada, Beatriz, pela sua paciência, compreensão e apoio inabalável. Seu amor e encorajamento foram uma fonte inesgotável de inspiração.

Aos meus amigos, que ficaram ao meu lado nas horas de descontração e nas horas de estudo árduo. Suas risadas, conselhos e amizade tornaram esta jornada acadêmica mais rica e significativa.

À minha professora orientadora, Katt, por sua orientação sábia, apoio e dedicação à minha formação acadêmica. Sua expertise e orientação foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho e na minha formação como Engenheiro de Aquicultura.

A todos os professores que tiveram ao longo desta jornada, por compartilharem seu conhecimento, paciência e sabedoria. Cada um de vocês contribuiu para minha formação e crescimento acadêmico e pessoal.

À Luteus Aquarium em especial ao Felipe Weber e Stone, pela oportunidade de estagiar e aprender em um ambiente tão enriquecedor. Agradeço também ao Douglas e aos demais colegas pela parceria e apoio durante este período desafiador. E a Ane, pelo apoio constante e incentivo nessa etapa final do curso.

## RESUMO

Mesmo com a carência de informações sobre o comércio de peixes ornamentais marinhos, a indústria atual registra uma movimentação de US\$1,5 bilhão por ano, sendo comercializados de 20 a 50 milhões de indivíduos anualmente. Desse total de peixes marinhos comercializados, 95% são oriundos da extração do ambiente natural. Contudo, 11% desses animais capturados são descartados antes de serem exportados, sendo que uma parcela desse descarte é ocasionada pela baixa qualidade de água devido ao uso de sistemas rudimentares de clarificação da água nas estruturas de manutenção dos animais dentro das empresas exportadoras. Com base nisso, este trabalho buscou dimensionar um sistema de recirculação aquícola para a manutenção de peixes ornamentais marinhos destinados à exportação. Como resultado, foi proposto uma unidade piloto que pode ser escalonável para a estruturação de empresas de exportação de peixes marinhos e, além disso, foi desenvolvido um material destinado ao dimensionamento de sistemas de recirculação aquícola com base em diferentes metodologias e referências. Para o dimensionamento do sistema, foi necessário realizar extrapolações para a determinação de índices zootécnicos devido à falta de informação presente em trabalhos acadêmicos sobre os manejos alimentares e de produção de peixes ornamentais marinhos. Nesse caso, foram calculadas as necessidades do sistema para a capacidade de 13,5 kg/m<sup>3</sup>, sendo utilizados: reator biológico MBBR com volume útil de 105 litros; *bead filter*(filtro de esferas) modelo A6 da Altamar para filtragem mecânica; *Skimmer* Octo 180 da Ocean Tech para remoção de partículas finas; reator UV Ocean Tech de 36W para desinfecção da água; compressor de ar ACO-380 da marca Hailea; conjunto motobomba AC-9000 da Ocean Tech e conjunto motobomba centrífuga multiestágio modelo JMH2-60-T da Jacuzzi ; e duas caixas de equalização de 105 L.

Palavras-chave: Sistemas de Recirculação Aquícola; Peixes Ornamentais; Piscicultura Marinha.

## ABSTRACT

Even with the lack of information on the trade of marine ornamental fish, the current industry records a turnover of US\$1.5 billion per year, with 20 to 50 million individuals being traded annually. Of this total marine fish sold, 95% come from extraction from the natural environment. However, 11% of these captured animals are discarded before being exported, with a portion of this discard being caused by low water quality due to the use of rudimentary water clarification systems in animal maintenance structures within exporting companies. Based on this, this work sought to design an aquaculture recirculation system for the maintenance of marine ornamental fish intended for export. As a result, a pilot unit was proposed that can be scalable for structuring marine fish export companies and, in addition, material was developed for the design of aquaculture recirculation systems based on different methodologies and references. To size the system, it was necessary to carry out extrapolations to determine zootechnical indices due to the lack of information present in academic works on food management and production of marine ornamental fish. In this case, the system needs were calculated for a capacity of 13.5 kg/m<sup>3</sup>, using: MBBR biological reactor with a useful volume of 105 liters; bead filter model A6 from Altamar for mechanical filtration; Ocean Tech Octo 180 skimmer for fine particle removal; 36W Ocean Tech UV reactor for water disinfection; ACO-380 air compressor from the Hailea brand; AC-9000 motor pump set from Ocean Tech and multistage centrifugal motor pump set model JMH2-60-T from Jacuzzi; and two 105 L equalization boxes.

Keywords: Aquaculture Recirculation Systems; Ornamental Fish; Marine Fish Farming.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. As 16 espécies mais abundantes nas exportações ornamentais marinhas brasileiras: <i>Pomacanthus arcuatus</i> (1), <i>Holacanthus ciliaris</i> (2), <i>Pomacanthus paru</i> (3), <i>Holacanthus tricolor</i> (4), <i>Centropyge aurantonotus</i> (5), <i>Hippocampus reidi</i> (6), <i>Bodianus pulchellus</i> (7), <i>Acanthurus coeruleus</i> (8), <i>Bodianus rufus</i> (9), <i>Anisotremus virginicus</i> (10), <i>Diodon hystrix</i> (11), <i>Chaetodon ocellatus</i> (12), <i>Chaetodon striatus</i> (13), <i>Hippocampus erectus</i> (14), <i>Halichoeres dimidiatus</i> (15) e <i>Ogcocephalus vespertilio</i> (16).....	3
Figura 2. Exemplar de um peixe frade ( <i>Pomacanthus paru</i> ) adulto.....	6
Figura 3. Exemplar de um peixe peixe-anjo-rainha ( <i>Holacanthus ciliaris</i> ) adulto.....	7
Figura 4. Desenho 3D do projeto.....	14
Figura 5. Esquema do fluxo de água do projeto.....	15
Figura 6. Bancada de aço inox 314.....	16
Figura 7. Silicone transparente específico para aquário da Sil Trade (250 g) .....	17
Figura 8. Corte do aquário, apresentando suas tubulações e conexões.....	18
Figura 9. <i>Bead Filter A6</i> Altama .....	21
Figura 10. <i>Skimmer Octo 180</i> da Ocean Tech .....	23
Figura 11. <i>Bio Media K1 Sarlo Pond</i> .....	25
Figura 12. Caixa plástica modelo MS130 da Mercoplasa. ....	25
Figura 13. Compressor de ar ACO-380 Hailea. ....	26
Figura 14. Pedra porosa disco/bolacha de 13 cm da Air Stone .....	27
Figura 15. Pedra porosa bola grande Boyu S-05 .....	27
Figura 16. Mangueira de silicone .....	27
Figura 17. Reator UV Ocean Tech de 36 W.....	28
Figura 18. Abraçadeira SgooHan de 75 mm .....	29
Figura 19. Abraçadeira Click 32mm da Inpol/Maxidutos .....	29
Figura 20. Motobomba AC-9000 da Ocean Tech.....	30
Figura 21. Motobomba centrífuga multiestágio Jacuzzi modelo JMH2-60-T.....	30
Figura 22. Perda de Carga Localizada, comprimento equivalente em metros de tubulação de PVC rígido ou cobre .....	41
Figura 23. Séries das bombas disponíveis pela Jacuzzi e suas respectivas capacidades.....	43
Figura 24. Tabela de seleção motobomba Jacuzzi série JMH .....	43
Figura 25. Curva de desempenho da motobomba série JMH2-T .....	44
Figura 26. Capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min.) .....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Parâmetro de qualidade de água para sistemas de recirculação aquícolas marinhos..	9
Tabela 2. Valores de consumo/produção e vazão necessária para o projeto.....	19
Tabela 3. Perda de carga localizada na tubulação de recalque.....	41
Tabela 4. Quantitativo e orçamento.....	45

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1.	OBJETIVOS.....	4
1.2	METODOLOGIA UTILIZADA.....	4
<b>2.</b>	<b>MEMORIAL DESCRITIVO</b> .....	5
2.1.	ESCOLHA DA ESPÉCIE.....	5
<b>2.1.1.</b>	<b><i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)</b> .....	6
<b>2.1.2.</b>	<b><i>Holacanthus ciliaris</i> (Linnaeus, 1758)</b> .....	6
<b>2.1.3.</b>	<b>Determinação dos Índices Zootécnicos</b> .....	7
2.2.	PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA .....	8
<b>2.2.1.</b>	<b>Salinidade</b> .....	9
<b>2.2.2.</b>	<b>Temperatura</b> .....	10
<b>2.2.3.</b>	<b>pH</b> .....	10
<b>2.2.4.</b>	<b>Compostos Nitrogenados</b> .....	11
<b>2.2.5.</b>	<b>Oxigênio Dissolvido</b> .....	11
<b>2.2.6.</b>	<b>Dióxido de Carbono Dissolvido</b> .....	12
<b>2.2.7.</b>	<b>Alcalinidade e Dureza</b> .....	12
<b>2.2.8.</b>	<b>Sólidos sedimentáveis, suspensos e dissolvidos</b> .....	13
2.3.	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA.....	14
2.4.	BANCADA E AQUÁRIOS.....	15
2.5.	BALANÇO DE MASSAS .....	18
2.6.	FILTRAGEM MECÂNICA .....	19
<b>2.6.1.</b>	<b>Remoção de Sólidos Suspensos</b> .....	20
<b>2.6.2.</b>	<b>Remoção de Partículas Finas</b> .....	22
2.7.	FILTRAGEM BIOLÓGICA .....	23
2.8.	SISTEMAS DE AERAÇÃO .....	25
2.9.	SISTEMA DE DESINFECÇÃO .....	27
2.10.	SISTEMA HIDRÁULICO .....	29
<b>3.</b>	<b>MEMORIAL DE CÁLCULO</b> .....	30
3.1.	BALANÇO DE MASSA.....	30
<b>3.1.1.</b>	<b>Vazão necessária para oxigênio dissolvido</b> .....	32
<b>3.1.2.</b>	<b>Vazão necessária para nitrogênio amoniacal total (TAN)</b> .....	33
<b>3.1.3.</b>	<b>Vazão necessária para dióxido de carbono dissolvido</b> .....	33

<b>3.1.4. Vazão necessária para total de sólidos suspensos (SST)</b> .....	34
<b>3.2. DIMENSIONAMENTO DO BIOFILTRO</b> .....	34
<b>3.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AERAÇÃO</b> .....	36
<b>3.4. DIMENSIONAMENTO DO REATOR UV</b> .....	37
<b>3.5. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO</b> .....	38
<b>3.5.1. Dimensionamento da tubulação de recalque</b> .....	38
<b>3.5.2. Altura geométrica total</b> .....	39
<b>3.5.3. Comprimento da tubulação de recalque</b> .....	39
<b>3.5.4. Cálculo da perda de carga na tubulação de recalque</b> .....	39
<b>3.5.5. Cálculo da altura manométrica de recalque</b> .....	42
<b>3.5.6. Seleção do conjunto motobomba</b> .....	42
<b>3.5.7. Dimensionamento do canal de drenagem</b> .....	44
<b>4. QUANTITATIVO E ORÇAMENTO</b> .....	45
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	46
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	48
<b>7. APÊNDICE</b> .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

Os peixes ornamentais de água salgada estão geralmente associados àqueles indivíduos que habitam regiões de recifes de coral tropicais, apresentando formas únicas, movimentos graciosos e cores vibrantes (Su et al., 2021). Segundo Biondo e Burki (2020), o número ou a diversidade de espécies de organismos ornamentais marinhos é pouco conhecido, devido à inexistência de um adequado sistema de monitoramento. As informações disponíveis são frequentemente baseadas em estimativas históricas ou inferências de várias fontes limitadas, incluindo dados de comércio de peixes ornamentais, que não diferenciam entre os diversos organismos de água doce ou salgada comercializados. Portanto, estabelecer quantidades precisas e origem dos animais é pouco confiável. De acordo com Gurjão e Lotufo (2018), os últimos dados estatísticos brasileiros publicados sobre a comercialização de peixes ornamentais marinhos eram referentes aos anos de 2006 e 2007.

Para evidenciar a magnitude do mercado global de organismos marinhos ornamentais, de acordo com Su et al. (2021), anualmente mais de 1.400 espécies de peixes marinhos são objeto de transações comerciais, representando 10% do volume total e 25% do valor total do comércio de peixes ornamentais. Isso reflete o status de produtos de alto valor e baixa produção de peixes de água salgada. Estima-se que o valor desse comércio ultrapasse US\$1,5 bilhão anualmente, envolvendo entre 20 e 40 milhões de peixes marinhos e invertebrados (Su et al., 2021), destacando-se como um setor economicamente relevante e de interesse específico para a economia mundial.

De acordo com Su et al. (2021), utilizando o banco de dados de Comércio de Pesca da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a região tropical do Oceano Índico-Pacífico se destacou como o principal fornecedor de peixes ornamentais de água salgada devido à sua rica biodiversidade. Cerca de 56% dos peixes de água salgada em todo o mundo são provenientes de países asiáticos, com o Sudeste Asiático liderando as exportações, contribuindo com cerca de 51% do total. De acordo com dados da FAO entre 2012 e 2017, a Tailândia liderou as exportações com aproximadamente 43%, seguida pela Indonésia e Filipinas com 23% e 22%, respectivamente, e Cingapura com cerca de 6%. Contudo, Cingapura é considerada o maior exportador da região devido à reexportação após importação. Outros países como Austrália, Sri Lanka, Fiji, Havaí (EUA), Brasil, Maldivas e outros também desempenham um papel relevante como fontes desse comércio. Em relação à importação de peixes ornamentais marinhos, os países com maior relevância estão localizados no hemisfério ocidental, estando os Estados Unidos como o maior importador e a União Europeia (UE) como o maior mercado do mundo. Apenas cinco países da UE, incluindo o Reino Unido, Alemanha, Itália, França e Holanda, representam 85% do valor total das importações da UE.

Atualmente, as principais espécies de peixes de aquário de água salgada no comércio internacional incluem as famílias Pomacentridae, Acanthuridae, Labridae, Scaridae, Balistidae, Chaetodontidae e Syngnathidae (Su et al., 2021). Segundo o autor, as principais espécies são: *Abudefduf spp.*, *Chrysiptera biocellata*, *Chrysiptera cyanea*, *Amphiprion bicinctus*, *Amphiprion frenatus*, *Amphiprion ocellaris*, *Amphiprion sebae*, representantes da família Pomacentridae; *Paracanthurus hepatus* da família Acanthuridae; *Labroides dimidiatus* da família Labridae; e *Heniochus acuminatus* da família Chaetodontidae.

No contexto do comércio de peixes ornamentais marinhos no Brasil, um estudo contínuo de Gurjão e Lotufo (2018), baseado em dados de 420.871 autorizações de exportação emitidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), revelou que o país diminuiu o volume de exportações durante o período de 2006 a 2015. As exportações foram de 92.674 espécimes em 2006 para 11.582 em 2015, representando uma

redução superior a 87%. Esta redução pode ser atribuída, em grande parte, à regulamentação excessiva e à burocracia associada ao processo de exportação de organismos ornamentais marinhos. Ao longo do período investigado, observou-se a exportação de 136 espécies de peixes ornamentais marinhos, com destaque para 2007, quando 128 espécies foram exportadas. No entanto, esse número regrediu, atingindo 53 espécies em 2015. Essa diminuição está principalmente associada à redução do número de indivíduos comercializados, o que impactou a diversidade de espécies disponíveis no mercado.

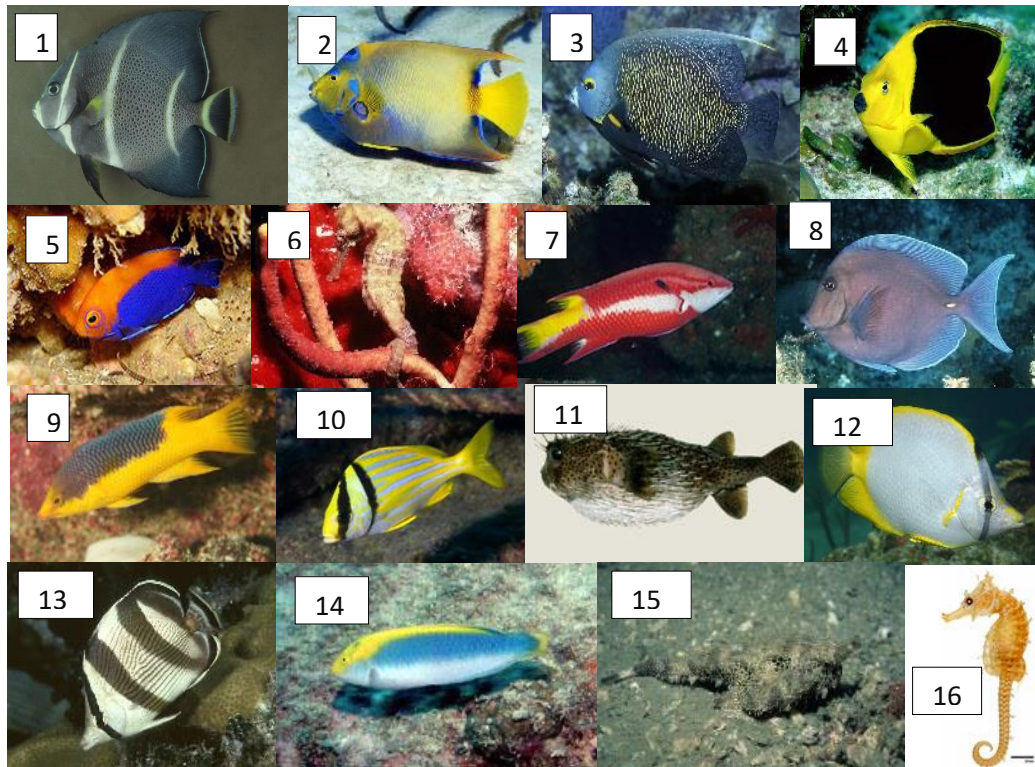
No período investigado no estudo conduzido por Gurjão e Lotufo (2018), o comércio de organismos ornamentais marinhos no Brasil apresentou a participação de sete estados exportadores, a saber: Ceará, Bahia, Espírito Santo, Pará, Pernambuco, Rio de Janeiro e São Paulo. Notavelmente, o estado do Ceará despontou como o mais proeminente nesse cenário, respondendo por uma parcela significativa de 74% das exportações totais de organismos ornamentais marinhos do Brasil. Durante esse período, o Brasil exportou peixes marinhos para 37 países, sendo majoritariamente destinados aos países asiáticos, com o Japão liderando as mesmas com 24,95%, seguido por Hong Kong com 21,32% e Taiwan com 5,99%. Esse redirecionamento das exportações colocou os Estados Unidos (EUA) em segundo lugar, com uma participação de 22,18%.

Segundo os dados apresentados por Gurjão e Lotufo (2018), em relação às principais espécies exportadas pelo Brasil, os pomacantídeos (*Holacanthus ciliaris*, *Holacanthus tricolor*, *Pomacanthus paru*, *Pomacanthus arcuatus* e *Centropyge aurantonotus*) (Figura 1) são o grupo mais representativo na indústria ornamental marinha brasileira. Além desse grupo, estando entre as 16 espécies mais abundantes nas exportações ornamentais marinhas brasileiras, temos: *Hippocampus reidi*, *Acanthurus coeruleus*, *Bodianus pulchellus*, *Bodianus rufus*, *Anisotremus virginicus*, *Diodon hystrix*, *Chaetodon ocellatus*, *Chaetodon striatus*, *Hippocampus erectus*, *Halichoeres dimidiatus*, *Ogcocephalus vespertilio* (Figura 1).

Ao contrário dos peixes ornamentais de água doce, 95% dos peixes marinhos comercializados na indústria ornamental são oriundos do extrativismo (Su et al., 2021), tendo cerca de 11% dos animais capturados descartados (Nottingham et al., 2005). De acordo com a pesquisa realizada por Nottingham et al. (2005), juntamente com outros fatores cruciais para a compreensão desse percentual, encontra-se o emprego de estruturas rudimentares nas operações das empresas exportadoras de peixes ornamentais. Nessas circunstâncias, devido à utilização de sistemas de filtração de água ineficientes, ocorre a propensão para as restrições das configurações ideais de qualidade da água. Esse cenário, por sua vez, propicia o aumento da incidência de doenças, o acréscimo na taxa de mortalidade dos peixes e a consequente manipulação de sua qualidade visual.

Esse contexto de sistemas de filtração de água ineficientes pode estar associado há poucos trabalhos acadêmicos que apresentem critérios de projeto próprios para a manutenção e produção de peixes ornamentais marinhos (Watson; Hill, 2006). Contudo, os sistemas fechados com tratamento e recirculação de água estão sendo comumente utilizados no cultivo e manutenção de peixes ornamentais e em grandes aquários privados e públicos em todo o mundo (Kubitzka, 2006).

Figura 1. Espécies mais abundantes nas exportações ornamentais marinhas brasileiras: *Pomacanthus arcuatus* (1), *Holacanthus ciliaris* (2), *Pomacanthus paru* (3), *Holacanthus tricolor* (4), *Centropyge aurantonotus* (5), *Hippocampus reidi* (6), *Bodianus pulchellus* (7), *Acanthurus coeruleus* (8), *Bodianus rufus* (9), *Anisotremus virginicus* (10), *Diodon hystrix* (11), *Chaetodon ocellatus* (12), *Chaetodon striatus* (13), *Hippocampus erectus* (14), *Halichoeres dimidiatus* (15) e *Ogcocephalus vespertilio* (16).



Fonte: Fishbase.net.br. Acessado em: 02/11/2023.

Os sistemas de aquicultura de recirculação (comumente chamados pela sigla RAS, do inglês Recirculating Aquaculture System) são essencialmente empregados para criação e manutenção de organismos aquáticos através do reaproveitamento da água a partir da utilização de filtros mecânicos, químicos, biológicos e outros componentes (Bregnballe, 2015). Os principais componentes incluem unidades de manutenção nos animais como tanques e aquários e sistemas de tratamento de água, nos quais estão compreendidos processos unitários de filtração física, remoções bioquímicas e químicas como processos de desinfecção, além de sistemas de suplementação de oxigênio (Timmons & Ebell, 2013).

Pode-se considerar que a utilização dessa tecnologia na manutenção de peixes ornamentais marinhos destinados à exportação justifica as vantagens a ela associada, levando em consideração o valor significativo agregado a esses animais (Kubitza, 2006; Watson & Hill, 2006). Segundo Bregnballe (2015), entre as vantagens relacionadas aos sistemas de Recirculação de Aquicultura (RAS), destacam-se várias características positivas. Esses sistemas sobressaem ao empregar quantidades relativamente reduzidas de água e espaço para manter um grande volume de peixes, demonstrando eficiência no tratamento, coleta e reciclagem dos resíduos gerados pelos animais. A sua capacidade de isolamento em relação aos corpos d'água existentes simplifica a prevenção de fugas de peixes e elimina a presença de predadores. Além disso, a utilização de ambientes protegidos minimiza as interferências decorrentes das condições climáticas externas.

Outro ponto positivo desses sistemas é a possível implementação de rigorosos procedimentos de biossegurança, salvaguardando os peixes contra surtos de doenças. Além disso, há a viabilidade para a aplicação de níveis significativos de automação, reduzindo a dependência de mão-de-obra. A instalação estratégica desses empreendimentos contribui para a redução das despesas de transporte, entre outras vantagens notáveis.

No entanto, é importante ressaltar que esses sistemas apresentam algumas desvantagens. O investimento necessário em infraestrutura, os custos operacionais e o consumo de eletricidade tendem a ser mais elevados se comparados aos sistemas tradicionais de aquicultura. Além disso, a operação requer mão-de-obra qualificada para garantir o pleno funcionamento do sistema, sendo esses fatores considerados como desafios a serem superados.

Considerando o exposto, este trabalho busca apresentar um projeto piloto de engenharia de aquicultura de um sistema de recirculação aquícola destinado a manutenção de peixes ornamentais marinhos voltados para exportação. Dessa forma, por se tratar de uma situação diferente da convencional criação e engorda de peixes, onde se predomina o conhecimento técnico e acadêmico, serão expostas as considerações relevantes para um dimensionamento do sistema destinado somente para a manutenção dos animais em um bom estado de saúde e aparência, tendo em vista que este ponto é a preocupação primordial do mercado ornamental (Watson & Hill, 2006).

Além disso, por se tratar de um tema exposto predominantemente em inglês, esse trabalho apresentará um material em português com considerações, equipamentos e fórmulas para os dimensionamentos dos sistemas de recirculação. Também, serão abordadas as estruturas complementares necessárias para manejar os sistemas e para ter um quarentenário destinado à exportação de peixes ornamentais. Com isso, busca-se criar conhecimento técnico e científico para engajamento no mercado de trabalho e, igualmente, apresentar um trabalho que auxilie o desenvolvimento do mercado ornamental e dos sistemas aquícolas de recirculação.

## 1.1 OBJETIVO

Elaborar um projeto piloto de engenharia de aquicultura para instalação de sistema em recirculação aquícola para manutenção de peixes ornamentais marinhos destinados à exportação.

## 1.2 METODOLOGIA UTILIZADA

Para a realização do dimensionamento de um sistema de recirculação aquícola destinado à manutenção de peixes ornamentais, visando sua exportação, é necessário um planejamento estruturado que envolve múltiplas etapas. Inicialmente, o processo começa com um estudo detalhado do local, considerando variáveis como topografia, qualidade da água, e condições ambientais para determinar a viabilidade do projeto. Nesse projeto, o espaço e topográfica do local não foram consideradas, sendo apresentada uma proposta de unidade que pode ser replicada ou adaptada por diferentes empresas exportadoras.

A partir disso, é elaborado o memorial descritivo, que descreve minuciosamente o sistema proposto. Este memorial inclui informações sobre o tipo de sistema de recirculação a ser implementado, como tanques, sistemas de filtragem, aeração, e outros componentes necessários para garantir as condições ideais de criação dos peixes ornamentais.



A etapa seguinte envolve a elaboração do memorial de cálculo, onde são documentados todos os cálculos e parâmetros técnicos utilizados no dimensionamento do sistema. Isso inclui cálculos para a capacidade dos tanques, vazão de água, dimensionamento de sistemas de filtragem, cálculos de carga hidráulica, entre outros.

Paralelamente, são desenvolvidos desenhos geométricos que abrangem plantas baixas, cortes e isometrias, representando graficamente as instalações propostas, a disposição dos equipamentos, tubulações e demais estruturas do sistema de recirculação aquícola. Esses desenhos auxiliam na compreensão visual e na execução adequada do projeto.

Concomitantemente, uma planilha de quantitativos e orçamento é elaborada, detalhando os materiais, equipamentos e mão de obra necessários. Esta planilha oferece uma estimativa de custos, considerando os diversos componentes do projeto, desde os tanques de criação até os sistemas de tratamento de água, permitindo uma avaliação precisa dos recursos financeiros necessários para a execução do projeto.

## **2. MEMORIAL DESCRITIVO**

### **2.1 ESCOLHA DA ESPÉCIE**

O dimensionamento de sistemas de recirculação aquícola bem-sucedido para aquários marinhos deve basear-se em critérios de concepção iniciais que visem atender as demandas dos organismos cultivados, levando em consideração os custos para construção e operação (Watson & Hill, 2006). Nesse caso, por estar trabalhando com espécies ornamentais marinhas que, em sua maioria, estão localizadas em ambientes oligotróficos e altamente estáveis, as condições ambientais e de qualidade de água se tornam os critérios primordiais para o dimensionamento dos sistemas (Watson & Hill, 2006). Dessa forma, com a manutenção adequada desses parâmetros, torna-se viável manter os animais saudáveis e com a aparência atraente para a comercialização.

Contudo, tendo em vista a diversidade de animais comercializadas nesse mercado, a escolha de uma espécie para a determinação dos critérios de projeto se torna ineficiente. Além da variedade de espécies, dados de cultivo e nutrição de ornamentais marinhos não são amplamente divulgadas em comparação com espécimes destinadas à alimentação humana (Zuanon et al., 2011). As melhorias a respeito dos avanços na criação de peixes ornamentais marinhos se originam e pertencem, principalmente, a empresas privadas ou entusiastas esclarecidos do aquarismo (Pouil; Tlusty; Rhyne; Metian, 2019). De acordo com Zuanon e colaboradores (2011), os sistemas utilizados na produção de peixes ornamentais seguem os princípios fundamentais comuns aos sistemas de criação de peixes destinados ao consumo, que envolvem a gestão da qualidade e quantidade de água, a densidade de estocagem e as práticas de alimentação. Seguindo com as ideias dos autores, parte-se do princípio que os peixes ornamentais necessitam de manejos alimentares e nutricionais semelhantes aos dos peixes de corte.

Dessa forma, considerou-se condições ideais para a manutenção das espécies de maior relevância no mercado brasileiro, portanto, foram escolhidas o *Pomacanthus paru* (Bloch, 1787) e a *Holacanthus ciliaris* (Linnaeus, 1758). Seguindo as informações disponibilizadas pelo Guia para Identificação de Peixes Ornamentais Brasileiros, espécies marinhas (IBAMA, 2008), serão apresentadas algumas características das espécies nos tópicos 2.1.1 e 2.1.2.

Ademais, além da variedade de espécies, dados de cultivo e nutrição de ornamentais marinhos não são amplamente divulgadas em comparação com espécimes destinadas à alimentação humana (Zuanon et al., 2011). As melhorias a respeito dos avanços na criação de peixes ornamentais marinhos se originam e pertencem, principalmente, a empresas privadas ou entusiastas esclarecidos do aquarismo (Pouil; Tlusty; Rhyne; Metian, 2019). De acordo com Zuanon e colaboradores (2011), os sistemas utilizados na produção de peixes ornamentais seguem os princípios fundamentais comuns aos sistemas de criação de peixes destinados ao consumo, que envolvem a gestão da qualidade e quantidade de água, a densidade de estocagem e as práticas de alimentação. Seguindo com as ideias dos autores, parte-se do princípio que os peixes ornamentais necessitam de manejos alimentares e nutricionais semelhantes aos dos peixes de corte.

### 2.1.1. *Pomacanthus paru* (Bloch, 1787)

O *Pomacanthus paru*, também conhecido como frade, paru-da-pedra, paru, paru-preto e french angelfish, pertence à família Pomacanthidae. Quando juvenis, apresentam um corpo predominantemente negro com quatro barras amarelas distintas. Os adultos desse peixe apresentam ampla variação de cores que vai desde azul escuro até um quase preto, com margens de escamas em tons amarelos e uma boca de coloração branca. Além disso, apresentam uma coloração amarela na região da axila da nadadeira peitoral e ao redor dos olhos. Essa espécie é encontrada no Atlântico Ocidental, desde a Flórida até Santa Catarina, incluindo ilhas oceânicas brasileiras.

O frade, é uma espécie de peixe diurna e resistente. Em cativeiro, é facilmente alimentado com rações industrializadas. Quando jovens, esses peixes se assemelham significativamente aos juvenis de *P. arcuatus*, sendo também eficazes na limpeza de recifes. Contudo, é aconselhável evitar a coexistência de indivíduos da mesma espécie num mesmo ambiente, pois tendem a ser territorialistas. Essa espécie tem um tamanho máximo de aproximadamente 40 cm, mas no comércio ornamental, é mais comum encontrar exemplares menores, com cerca de 5 a 25 cm de comprimento.

Figura 2. Exemplar de um peixe frade (*Pomacanthus paru*) adulto.



Fonte: Fishbase.net.br. Acessado em: 02/11/2023.

### 2.1.2. *Holacanthus ciliaris* (Linnaeus, 1758)

O *H. ciliaris*, conhecido comumente como ciliaris, peixe-anjo-rainha, peixe anjo e queen angelfish, pertence à família Pomacanthidae. O exemplar em questão apresenta um corpo alto e comprimido lateralmente, demonstrando características específicas em diferentes estágios de desenvolvimento. Os adultos exibem uma coloração de fundo que varia do verde-azulado ao amarelo, acompanhada de nadadeiras dorsal e anal que se estendem em filamentos,

ultrapassando a nadadeira caudal. Além disso, uma notável mancha azul é visível em sua testa, enquanto as nadadeiras peitorais, pélvicas e caudal se destacam em manchas amarelas. Por outro lado, os jovens dessa espécie apresentam um corpo predominantemente azul-escuro, quase negro, ou em um tom de amarelo-esverdeado, com a presença de cinco barras verticais azul-claras. Suas nadadeiras peitorais e caudal também adotam uma coloração amarela. Essas variações de coloração são características marcantes desse peixe, permitindo a diferenciação entre indivíduos de diferentes idades e estágios de vida. Essa espécie é encontrada no Atlântico Ocidental, desde a Flórida até Santa Catarina, incluindo ilhas oceânicas brasileiras.

Trata-se de uma espécie de peixe notavelmente rústica, que adota um comportamento onívoro e é mais ativo durante o período diurno. Sua alimentação é versátil e aceita alimentos industrializados. No entanto, é fundamental salientar a necessidade de evitar a estocagem de peixes da mesma espécie no aquário, pois são territoriais. Alcançam cerca de 40 cm de comprimento, mas são comumente comercializados no mercado ornamental com 5 a 20 cm.

Figura 3. Exemplar de um peixe peixe-anjo-rainha (*Holacanthus ciliaris*) adulto.



Fonte: Fishbase.net.br. Acessado em: 02/11/2023.

### 2.1.3 Determinação dos índices zootécnicos

Mesmo se tratando de um mercado impulsionado pelo número de animais comercializados, o peso ainda é uma ferramenta útil na estimativa de parâmetros de produção, tais como taxas de alimentação e produção ou consumo de compostos (oxigênio, compostos nitrogenados, entre outros) (Watson & Hill, 2006). Contudo, considerando as limitações apresentadas sobre o cultivo e manejos alimentares, a taxa de alimentação e o nível de proteína bruta (PB) presente na ração, foram determinados com base em estudos de outras espécies marinhas. A taxa de alimentação é um parâmetro crítico, tendo em vista que todos os outros valores do projeto são com base nela, incluindo vazão do projeto, captura de sólidos, biofiltração, oxigenação, remoção de gases e desinfecção (Timmons Ebeling, 2013).

No contexto dos peixes-palhaço (*Amphiprion ocellaris*), com exceção dos reprodutores que seguem uma estratégia alimentar diferenciada, é comum o uso de rações comerciais inertes destinadas a peixes onívoros marinhos, juntamente com a incorporação de dietas úmidas preparadas (Oliveira, 2022). De acordo com as recomendações de Wilkerson (2003), para essa espécie, o teor de proteína bruta (PB) não deve ultrapassar os 60%, uma vez que níveis

superiores podem resultar na excreção de aminoácidos não essenciais, acumulação de compostos nitrogenados na água e aumento dos custos de produção. Em um estudo envolvendo o peixe Paru-branco (*Chaetodipterus faber*), um animal onívoro com habitat semelhante aos dos peixes *P. paru* e *H. ciliaris*, foram utilizadas rações contendo 50% de PB e administrados a uma taxa de alimentação diária correspondente a 3 -7% do peso vivo (PV), resultando em índices de crescimento positivos e nenhuma ocorrência de mortalidade durante a pesquisa (Trushenski; Rombenso; Schwarz; Bowzer; Gause; Delbos; Sampaio, 2012). No entanto, um estudo contínuo com a espécie *Nibeia miichthioides* indicou que uma taxa de alimentação de 1% do PV para preservar a saúde dos animais, embora tenha resultado em um crescimento mais lento em comparação com taxas de alimentação diárias mais elevadas. Em resumo, a taxa de alimentação diária varia geralmente de 1 a 10% do peso vivo do animal (Davison, 2018).

Com base nesses dados, neste trabalho foi determinada a utilização de uma ração com nível de PB de 50% e uma taxa de alimentação diária de 0,5%. Essa taxa de alimentação considerada é baseada na premissa de que não é essencial o crescimento dos animais nas empresas exportadoras e no contexto do aquarismo, no qual outros aspectos se mostram mais relevantes do que o crescimento dos animais.

Para determinação da biomassa do sistema, foi considerado a equação proposta por Marks e Klomp (2003) para determinação da biomassa de peixes marinhos de acordo com o seu tamanho. Dessa forma, utilizando o tamanho comumente comercializado das espécies selecionadas, os peixes da espécie *P. paru* com 25 cm, possuem aproximadamente 485 g, enquanto os animais da espécie *H. ciliaris* com 20 cm possuem aproximadamente 200 g. Considerando isso, foi estipulado uma biomassa de 500 g por peixe, considerando o maior peso entre as duas espécies para que o dimensionamento ficasse a favor da segurança.

Em relação a densidade de estocagem, tendo em vista o comportamento territorialista de ambas as espécies, foi considerado um peixe por aquário. Contudo, por existirem diferentes espécies de interesse comercial e pelo territorialismo intraespecífico predominante entre os animais trabalhados, foi considerado a utilização de 750 g de peixe por aquário. Sendo assim, a densidade de estocagem desse projeto foi de 13,5 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

Segundo Davison (2018), o objetivo de qualquer sistema de aquicultura em recirculação é fornecer água de qualidade adequada, possibilitando manter os animais saudáveis. Manter os parâmetros adequados para os animais é de extrema complexidade, tendo em vista a diversidade de preferências e tolerâncias apresentadas para cada espécie e devido a interligação que ocorre entre os diferentes parâmetros (por exemplo, os níveis de pH, alcalinidade, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>) que variam conjuntamente) (Davison, 2018).

No Tabela 1, foram apresentados os valores adequados dos parâmetros de qualidade de água para este projeto, os quais foram embasados em índices utilizados em sistemas de recirculação aquícola de água salgada e cultivos de peixes ornamentais marinhos tropicais (Davison, 2018; Anikuttan et al., 2020; Timmons & Ebeling, 2013; Watson & Hill, 2006; Azevedo; Gallo Neto; Almeida; Sanches, 2014). No entanto, é importante ressaltar que esses dados foram determinados conforme requisitos gerais para peixes ornamentais marinhos

Tabela 1. Parâmetro de qualidade de água para sistemas de recirculação aquícolas marinhos.

Parâmetro	Valor
Temperatura	24 - 28 °C
Salinidade	30 - 35 mg/L
Oxigênio dissolvido	> 5 mg/L
Dióxido de carbono dissolvido	< 20 mg/L
Amônia (NAT)	< 0,1 mg/L
Nitrito	< 0,1 mg/L
Nitrato	< 100 mg/L
pH	8 – 8,5
Alcalinidade	120 mg/L
Dureza	20 – 300 mg/L
Sólidos suspensos totais (SST)	10 - 25 mg de TSS/L

Fonte: Adaptado (Davison, 2018; Anikuttan et al., 2020; Timmons; Ebeling, 2013; Watson; Hill, 2006; Azevedo; Gallo Neto; Almeida; Sanches, 2014)

### 2.2.1 Salinidade

A salinidade é definida como a concentração de sais dissolvidos na água do mar ou em outras soluções aquáticas, é geralmente expressa em partes por mil (ppt) ou em gramas por litro (g/L). No entanto, a unidade de medida mais comum e amplamente utilizada para descrever a salinidade é o PSU (*Practical Salinity Units*), que não possui uma unidade física absoluta, mas é baseada em medições de condutividade elétrica da água. A salinidade expressa em PSU é uma unidade adimensional derivada da condutividade elétrica da água, e é amplamente adotada em aquicultura, estudos oceanográficos e de ciências ambientais para indicar a quantidade de sais dissolvidos na água, sendo comumente descrita para classificar as águas como doce, salobra ou salgada (Timmons & Ebeling, 2013). Os íons que constituem a salinidade são cálcio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto e sulfato, sendo os principais, o cloreto e o sódio (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2015).

De acordo com Timmons e Ebeling (2013), os peixes regulam a concentração de íons em seus corpos por meio da osmorregulação, ajustando a absorção de íons do ambiente e impedindo a perda excessiva de água e/ou sais minerais. Quando expostos a salinidades inconvenientes, eles gastam muita energia na osmorregulação, prejudicando seu crescimento. Se a salinidade diverge muito do ideal, os peixes não conseguem manter o equilíbrio interno e podem morrer.

A concentração salina para a maioria dos sistemas para produção de ornamentais marinhos, especialmente os invertebrados tropicais de recifes de coral, deve ser mantida constantemente entre 33 e 35 ppt (Watson & Hill, 2006). Contudo, para outras espécies marinhas, se recomenda uma faixa de 30 a 35 ppt (Azevedo; Sanches; Neto, 2014). A salinidade pode ser medida facilmente de forma contínua com sensores eletrônicos (Davison, 2018). Para manter a água nas condições adequadas de salinidade, comumente são usados sais marinhos sintéticos e, além disso, se utiliza água doce para ajustar os aumentos de salinidade causados pela evaporação (Watson & Hill, 2006).

### 2.2.2 Temperatura

A temperatura é uma quantidade física que se aproxima da energia cinética média das moléculas, normalmente medida em graus Fahrenheit (°F) ou Celsius (°C), que está relacionada intrinsecamente com o desempenho dos animais cultivados, outros parâmetros de qualidade de água e suscetibilidade ao aparecimento de doenças (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2015). Segundo Timmons e Ebeling (2013), a temperatura da água perde apenas para o oxigênio dissolvido em importância e impacto na viabilidade econômica de um empreendimento comercial de aquicultura.

Apresentado por Watson e Hill (2006), espécies ornamentais marinhas são extremamente sensíveis a temperaturas acima ou abaixo dos limites estreitos encontrados nos ecossistemas de recifes tropicais, diminuindo a tolerância a variações de temperatura à medida que o habitat das espécies se encontra em regiões mais profundas. Para as espécies que vivem em regiões com 10 a 20 metros de profundidade, espécimes economicamente mais importantes, a temperatura tende a variar a poucos graus de 25°C (Watson & Hill, 2006). Contudo, o aumento da temperatura da água pode beneficiar algumas espécies, principalmente durante a reprodução, por exemplo, 28-32 °C para os peixe-palhaço (*Amphiprion sp.*) (Anikuttan et al., 2020; Watson; Hill, 2006).

A temperatura pode ser medida facilmente de forma contínua com sensores eletrônicos (Davison, 2018). Contudo, considerando essa faixa estreita de tolerância, dependendo da localização e das características climáticas da região, se faz necessário que o projeto inicial inclua equipamentos de aquecimento ou resfriamento, como também, a combinação de ambos para manter a temperatura durante todo o ano (Watson & Hill, 2006).

### 2.2.3 pH

Segundo Timmons e Ebeling (2013), o valor do pH expressa a intensidade da característica ácida ou básica da água. Simplificadamente, em termos químicos, o pH é o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio. Sua escala varia de 0 a 14, onde 7 corresponde ao ponto neutro, abaixo de 7 considerado ácido e acima de 7 valores básicos. Em relação à água do mar, o efeito de tamponamento ocorre pelo sistema bicarbonato-borato e possui um pH relativamente estável entre 8,0 e 8,5. Considerando ainda o exposto pelos autores, a exposição a extremos de pH pode desencadear estresse ou ser potencialmente letal para os organismos aquáticos, no entanto, são os efeitos indiretos decorrentes das interações do pH com outros fatores que se revelam de maior importância na aquicultura. O pH exerce controle sobre uma ampla gama de reações químicas envolvendo solubilidade e equilíbrio, sendo que uma das mais críticas é a influência sobre a relação entre a forma não ionizada e a forma ionizada da amônia e do nitrito. Além disso, o pH também exerce influência sobre a toxicidade de compostos como o sulfeto de hidrogênio, bem como de metais como cobre, cádmio, zinco e alumínio.

Segundo Davison (2018), o pH pode ser facilmente monitorado com sensores eletrônicos ou tiras de teste indicadoras colorimétricas. O pH deve ser monitorado regularmente, pois é afetado e afeta vários processos diferentes de tratamento de água, como biofiltração e remoção de dióxido de carbono.

#### 2.2.4 Compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados de maior relevância para os sistemas de recirculação aquícola são o nitrogênio amoniacal total (NAT), o nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e o nitrato ( $\text{NO}_3$ ), normalmente sendo medidos em mg/L ou ppm (Davison, 2018). Esses compostos são formados nos sistemas de recirculação a partir da excreção nas fezes e urina dos peixes, difusão branquial, troca catiônica branquial, detritos orgânicos de organismos mortos e moribundos, alimentos não consumidos e do gás nitrogênio na atmosfera (Timmons & Ebeling, 2013).

O nitrogênio amoniacal total (NAT) é composto por duas formas, como amônia não ionizada ( $\text{NH}_4$ ) e como amônia ionizada ( $\text{NH}_3$ ), sendo suas concentrações relativas de cada uma, e dependem do pH, temperatura e salinidade (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). A forma não ionizada é a forma mais tóxica devido à sua capacidade de se mover através das membranas celulares, sendo sua proporção aumentada de acordo com o aumento no pH, temperatura e salinidade (Timmons & Ebeling, 2013).

A partir do processo de biofiltração (nitrificação) ou com a utilização do ozônio, ocorre a conversão do NAT em nitrito e depois em nitrato, reduzindo sua toxicidade (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Embora a conversão de nitrito em nitrato ocorra relativamente rápida em projetos bem dimensionados, a permanência do nitrito no sistema acarreta a diminuição da capacidade de transporte de oxigênio no sangue pela hemoglobina, prejudicando o desenvolvimento dos animais e podendo levar a morte (Timmons & Ebeling, 2013). Sendo o produto final da nitrificação, o nitrato é a forma menos tóxica dos compostos nitrogenados sendo geralmente controlado a partir de trocas de água ou, em casos de baixa troca de água ou tempos elevados de retenção hidráulica, se utiliza o processo de desnitrificação (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018).

Em relação às espécies ornamentais marinhas, ocorre uma tolerância muito baixa à amônia, nitrito e ao nitrato quando comparadas às espécies de água doce (Timmons; Ebeling, 2013; Watson; Hill, 2006). A filtração biológica deve ser capaz de manter o nitrogênio amoniacal total e o nitrito, em níveis próximos de zero ( $<0,004$  mg/l) e o nitrato deve ser mantido abaixo de 100 mg/L (Watson & Hill, 2006). Contudo, existem espécies mais resistentes, podendo ser trabalhadas com valores inferiores a 0,1 mg/L de amônia e nitrito (Azevedo; Gallo Neto; Almeida; Sanches, 2014). A concentração de amônia não ionizada (tóxica) na parcela de nitrogênio amoniacal total presente na água salgada é apresentada por Bower e Bidwell (1978).

Para o monitoramento desses parâmetros, sensores podem ser utilizados para monitorar eletronicamente as concentrações de NAT, mas a amostragem diária de água e o teste de cada um por análise de cor ainda é o procedimento padrão (Davison, 2018)

#### 2.2.5 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é o parâmetro de qualidade de água mais importante, exigindo monitoramento contínuo em sistemas de recirculação aquícola para manter os índices adequados para a saúde dos animais e o bom funcionamento do biofiltro (Timmons; Ebeling, 2013; Watson; Hill, 2006). Seu monitoramento pode ser feito continuamente com uma variedade de sensores eletrônicos, sendo suas unidades típicas de medição, miligramas de oxigênio por litro de água (mg/L), partes por milhão (ppm) ou porcentagem de saturação (%) (Davison, 2018).

A concentração de saturação de oxigênio na água é influenciada principalmente pela temperatura e salinidade, sendo, no entanto, também afetada pela pressão barométrica e altitude (Timmons & Ebeling, 2013). A saturação aumenta à medida que a temperatura e a salinidade diminuem (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Além disso, observa-se uma redução na concentração de oxigênio dissolvido após a alimentação dos animais e durante o período noturno (Davison, 2018).

Em relação a maioria dos sistemas ornamentais marinhos, devido á biomassa relativamente baixa trabalhada, a aeração é geralmente suficiente para a troca gasosa (Watson & Hill, 2006). Contudo, caso o sistema tenha uma grande biomassa cultivada, será necessário a utilização de geradores ou cilindros de oxigênio (Watson & Hill, 2006). Em geral, os níveis de oxigênio dissolvido não devem cair abaixo de 5 mg/l (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018; Watson; Hill, 2006).

### **2.2.6 Dióxido de carbono dissolvido**

O dióxido de carbono presente em sistemas aquícolas é produzido pela respiração animal e pela decomposição da matéria orgânica (Timmons & Ebeling, 2013). A exposição a altas concentrações de dióxido torna os peixes mais sensíveis a baixas concentrações de oxigênio dissolvido devido ao acúmulo de CO<sub>2</sub> no sangue, cenário que pode resultar em acidose respiratória, levando a dificuldades respiratórias mesmo em água com alta concentração de oxigênio (Timmons & Ebeling, 2013).

Segundo Davison (2018), quando o dióxido de carbono é dissolvido em água, converte-se em ácido carbônico, tornando sua concentração na água diretamente influenciada pelo pH e pela alcalinidade do sistema. Portanto, a monitorização dos níveis de dióxido de carbono pode ser realizada de maneira independente, acompanhando simultaneamente o pH e a alcalinidade do sistema (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Além disso, o dióxido de carbono dissolvido pode ser quantificado em mg/L, ppm ou mmHg por meio de sensores eletrônicos, embora essa tecnologia seja menos avançada do que os sensores de oxigênio e raramente seja usada para monitoramento contínuo (Davison, 2018).

Os níveis adequados para esse parâmetro ainda não estão concretamente determinados até o momento (Timmons; Ebeling, 2013, 2013; Davison, 2018), contudo, recomenda-se um limite de 15 – 20 mg/L para peixes ósseos (Timmons & Ebeling, 2013). Na maioria dos sistemas destinados à ornamentais marinhos, devido à baixa biomassa trabalhada, a remoção de dióxido de carbono pode ser realizada a partir da aeração da água (Davison, 2018). Contudo, em sistemas onde a biomassa estocada seja maior que 40 kg/m<sup>3</sup>, se faz necessário intensificar a aeração e/ou utilizar equipamentos de degaseificação (Timmons & Ebeling, 2013).

### **2.2.7 Alcalinidade e dureza**

Em termos gerais, a alcalinidade é uma medida da capacidade de tamponamento do pH ou da capacidade de neutralização de ácidos da água, também conhecido como efeito tampão (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Em termos químicos, a alcalinidade é definida como a quantidade total de bases tituláveis na água expressa em mg/L equivalente de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) (Timmons & Ebeling, 2013). Para sistemas marinhos, a alcalinidade é de cerca de 120 mg/L CaCO<sub>3</sub> (Timmons & Ebeling, 2013).

O monitoramento e o ajuste da alcalinidade em sistemas de recirculação aquícolas são de extrema importância para a estabilidade dos parâmetros de qualidade de água,



principalmente devido a estabilização do pH e a interação do pH com outros compostos (toxicidade da amônia, por exemplo), e para suprir demandas minerais das bactérias aeróbicas (nitrificantes) (Timmons & Ebeling, 2013).

Para a realização do monitoramento da alcalinidade, frequentemente é utilizado o procedimento de titulação (Davison, 2018). No caso de controle, a alcalinidade é facilmente ajustada através da adição de bicarbonato de sódio (principal produto utilizado devido a disponibilidade de embalagens com grandes volumes, segurança, preço acessível e de fácil aplicação) (Timmons & Ebeling, 2013). Para a correção, podem ser utilizados 113 g de bicarbonato de sódio para cada kg de ração (Timmons & Ebeling, 2013) ou uma concentração de 0,2 g/L para aumentar 100 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (Furtado, 2011).

Por sua vez, a dureza é a medida de íons divalentes em solução, mais frequentemente cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ferro e manganês explicando parcialmente o conteúdo mineral da água (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Frequentemente alcalinidade e dureza são confundidas, pois possuem medidas com as mesmas unidades (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) e por alguns íons que representam a alcalinidade estarem presentes no grupo íons divalentes (carbonato de cálcio e carbonato de magnésio) (Davison, 2018). Águas muito duras podem causar incrustações e deposição mineral em equipamentos e tubulações (Davison, 2018). As recomendações para dureza total variam de 20 a 300 mg/L (Timmons & Ebeling, 2013).

### **2.2.8 Sólidos sedimentáveis, suspensos e dissolvidos**

Os resíduos sólidos que se acumulam em um sistema de aquicultura são originários de alimentos não consumidos, partículas finas de ração, excrementos de peixes, material biológico de algas e biofilmes desprendidos de filtros biológicos (Timmons & Ebeling, 2013). Esses resíduos sólidos influenciam a eficiência de todos os processos unitários de tratamento da água nos sistemas de recirculação aquícola, podendo prejudicar os parâmetros de qualidade de água e a saúde dos animais cultivados. Os sólidos são uma importante fonte de consumo de oxigênio e de entrada de nutrientes na água, além de poder afetar as brânquias e abrigar patógenos (Timmons & Ebeling, 2013). Dessa forma, a remoção de sólidos é o processo de tratamento mais importante nos sistemas aquícolas, idealmente, sendo necessário a remoção o mais rápido possível dos tanques e aquários. Os sólidos podem ser classificados em três categorias: sedimentáveis, suspensos e dissolvidos.

De acordo com Davison (2018), Timmons e Ebeling (2013), os sólidos sedimentáveis e suspensos diferem no tempo que leva para assentarem no fundo de um cone Imhoff, (mL/L), sendo o sólidos suspensos totais (mg/L) uma medida de todos os sólidos suspensos sedimentáveis e não sedimentáveis (dissolvidos), secos. Os sólidos suspensos são grandes o suficiente para depositarem no fundo do tanque em condições adequadas, sendo os sedimentáveis eliminados em menos de uma hora. Já os sólidos suspensos não sedimentáveis demoram mais tempo e necessitam de tratamento diferente dos decantadores por gravidade convencionais. Nos sistemas de aquicultura, são compostos principalmente de matéria fecal, sobras de alimentos e biofilme (bactérias vivas e mortas). De acordo com Davison (2018), normalmente, o sistema de filtração de sólidos deve manter os níveis de sólidos suspensos totais (SST) entre 10 e 25 mg/L.

Para os mesmos autores, os sólidos menores que 2  $\mu\text{m}$  são conhecidos como sólidos totais dissolvidos, sendo a medida da quantidade total de minerais, sais, metais, nitratos e substâncias orgânicas dissolvidas que estão em suspensão coloidal na água e são difíceis de remover através de telas.

### 2.3 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura projetada será composta por: uma bancada de aço inox 314 com capacidade de comportar 18 aquários (0,4 m x 0,4 m x 0,4 m) de 56 L úteis, totalizando o volume de 1008 L; um biorreator do tipo MBBR (do inglês, *Moving Bed Biofilm Reactor*) com volume útil de 105 L; um *Bead Filter* (filtro de esferas) modelo A6 da Altamar para filtragem mecânica; um *Skimmer* Octo 180 da Ocean Tech para remoção dos sólidos suspenso finos, comumente maiores que 30  $\mu\text{m}$ ; um reator UV Ocean Tech de 36 W para desinfecção da água; um compressor de ar ACO-380 da marca Hailea; um conjunto motobomba AC-9000 da Ocean Tech (M1) e um conjunto motobomba centrífuga multiestágio Jacuzzi JMH2-60-T (M2); e duas caixas de equalização de 105 L. As plantas, cortes e isometrias do projeto, estão apresentadas no Apêndice, permitindo um melhor entendimento de suas partes.

Figura 4. Desenho 3D do projeto.

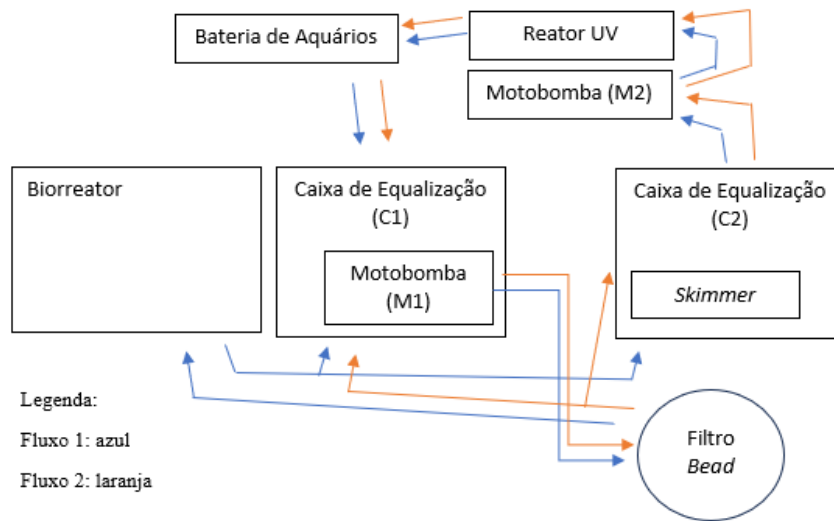


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Todos os aquários possuirão entrada e saída individualizadas, permitindo melhor homogeneização dos parâmetros de qualidade de água e a possibilidade de isolar um aquário para algum manejo eventual como a realização de um tratamento, manutenção do aquário, entre outras demandas operacionais. Além disso, cada aquário irá possuir uma fonte de aeração, considerando sua sensibilidade a variações nos níveis de oxigênio dissolvido. Dessa forma, esse sistema servirá como um backup para eventuais problemas com o sistema de abastecimento.

Quanto ao percurso da água, delineado na figura 5, dois trajetos são possíveis: um que envolve o uso do biorreator (Fluxo 1) e outro que não o inclui (Fluxo 2). Essa configuração de dimensionamento oferece a flexibilidade de desvincular o biorreator do sistema, quando necessário para a administração de medicamentos, como antibióticos, ou outros produtos que possam afetar a colônia de bactérias ou microrganismos. Dessa forma, preserva-se a integridade das colônias de bactérias nitrificantes e os mecanismos de filtragem de sólidos.

Figura 5. Esquema do fluxo de água do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No fluxo 1, a água que sai da bancada de aquários é encaminhada para a primeira caixa de equalização (C1) com vazão (Q) de 3 m<sup>3</sup>/h, sendo utilizada como uma caixa de passagem onde estará a motobomba M1. A motobomba M1 será responsável por encaminhar a água para o filtro de esferas em uma taxa de 6 m<sup>3</sup>/h, atendendo a vazão máxima do equipamento. Em seguida, a água passa pelo *bead filter* e é encaminhada para o filtro biológico com 100% da vazão. Posteriormente, é direcionado o caminho da água para dois pontos, retorno para a caixa de equalização (C1) com 50% do fluxo de M1 e encaminhamento para a caixa de equalização (C2) com o restante da vazão. Dessa forma, a vazão utilizada no biorreator e no *bead filter* será o dobro do fluxo principal do sistema, aumentando sua eficiência. A caixa de equalização C2 irá conter o *skimmer* e, acoplada nela, a motobomba M2. Por sua vez, a motobomba M2 encaminha a água para o filtro UV em uma taxa de 3 m<sup>3</sup>/h (vazão dimensionada para o projeto) e em seguida para os aquários. No percurso até os aquários, foi instalado um *by pass*, com o intuito de possibilitar a manutenção do equipamento UV sem interromper o fluxo do sistema.

No Fluxo 2, a alteração que ocorre é o redirecionamento da água que sai do *bead filter* para as duas caixas de equalização, em vez de ser encaminhada para o biorreator. Esse desvio é realizado por meio de registros, não apenas desvinculando o biorreator, mas também equalizando a vazão de água em todos os compartimentos. Este ajuste desempenha um papel significativo no contexto das empresas exportadoras, pois requer estruturas para a realização da quarentena dos animais, frequentemente utilizando antibióticos, e se torna uma opção crucial para manter a comunidade de bactérias nitrificantes ativa. Dessa maneira, possibilita uma maior estabilidade do sistema quando o período de tratamento terminar.

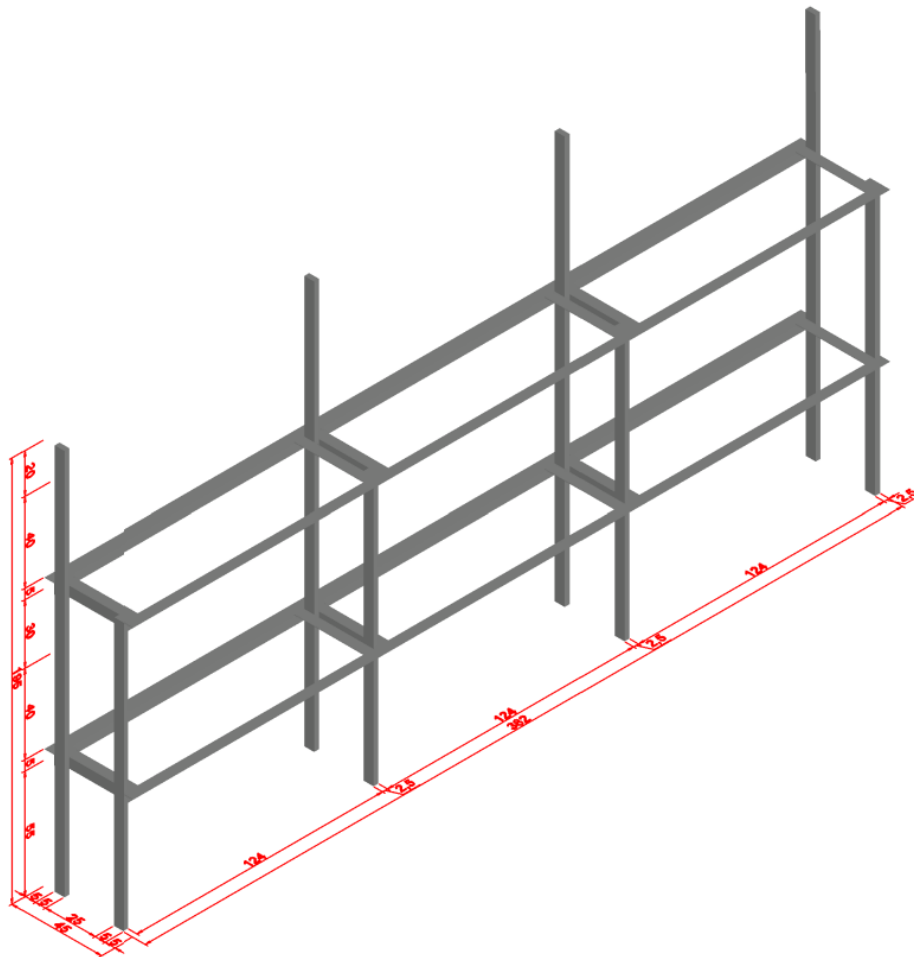
## 2.4 BANCADA E AQUÁRIOS

A estrutura terá dois andares, com espaço para suportar 18 aquários. As medidas da bancada, serão: 3,82 m de comprimento, 0,45 m de largura e 1,35 m de altura. Em relação aos

aquários, possuindo um formato de cubo (0,4 x 0,4 x 0,4 m), apresenta 64 L de volume total. Contudo, considerando uma coluna de água de 35 cm, possui como volume útil 56 L. Pensando no manejo e manutenção dos aquários, foi mantido 0,3 m entre o aquário e o próximo andar, como também, 1 cm de distância entre os aquários e pilares da bancada.

Os materiais utilizados para montagem da bancada foram: tubos retangulares (50 x 25 mm) e cantoneiras (50 x 50 mm) de aço inox 314. Os tubos retangulares serão utilizados para os pilares da bancada e as cantoneiras para as vigas. Serão necessários 4 tubos retangulares de alumínio de 1,35 m e mais 4 tubos de 1,95 m, totalizando 13,2 m. Em relação às cantoneiras, serão necessárias 4 unidades de 3,82 m e 12 unidades de 0,35 m, totalizando 19,48 m. Nesse caso, o valor da estrutura considerou a execução do serviço, sendo realizado o orçamento da estrutura montada.

Figura 6. Bancada de aço inox 314



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a montagem dos aquários, foi determinada a utilização de vidros na espessura 5 mm. Considerando as medidas dos aquários serão necessários 14,4 m<sup>2</sup> de vidro. Para a montagem de todos os aquários, será necessário 14,4 m<sup>2</sup> de vidro e silicone transparente específico para aquários da marca Sil Trade de 280 g (rendimento, 10 g/m). Considerando o rendimento silicone, serão necessários 576 g do produto para todos os aquários. Dessa forma,

considerando o tamanho do produto, serão necessárias 3 unidades, já inclusa a margem de segurança.

Figura 7. Silicone transparente específico para aquário da Sil Trade (250 g).

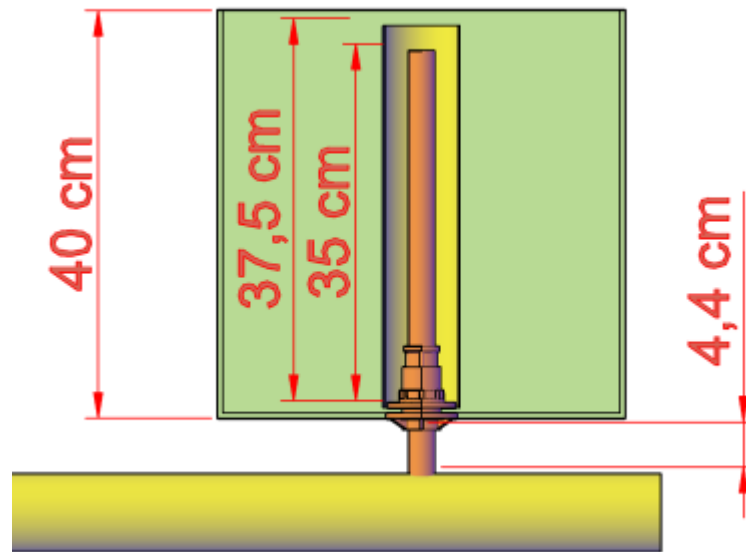


Fonte: MercadoLivre.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

A maioria dos tanques de RAS (*Recirculating Aquaculture Systems*) é redondo, octogonal ou está em algum ponto intermediário, pois assim, facilitam a circulação de água e a deposição dos sólidos no ponto de drenagem – normalmente centralizado no fundo dos tanques (Davison, 2018). Além da conformação dos tanques, a implementação de um sistema de abastecimento e drenagem é essencial para otimizar as condições de fluxo de água nos tanques, garantindo a condução adequada dos sólidos para o ponto de drenagem (Davison, 2018). A autolimpeza reduz consideravelmente os custos de mão de obra, ao mesmo tempo em que aprimora a qualidade da água (Davison, 2018). No entanto, é provável que os sólidos ainda se acumulem em determinadas áreas do sistema, e é crucial realizar a limpeza regular desses locais sempre que identificados. Contudo, no caso de empresas exportadoras de peixes ornamentais, são utilizados aquários retangulares, impossibilitando a formação de um fluxo circular eficiente e resultando na formação de zonas mortas.

Dessa forma, para melhorar as condições de autolimpeza dos sólidos produzidos, será inserido o dreno do aquário no lado oposto da entrada de água e ar, forçando o deslocamento dos sólidos para o ponto de drenagem. Os drenos de cada aquário serão formados por uma tubulação de 31,5 cm da linha de água fria de 25 mm e um tubo de 37,5 cm da linha esgoto de 75 mm em volta do menor (Figura 8). Dessa forma, o tubo de menor diâmetro regulará o nível do aquário e o maior forçará que uma parcela dos sólidos localizados no fundo seja capturada. Além disso, será necessário a utilização de um adaptador soldável com anel para caixas d'água (flange) e um adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro de 25 mm. Por fim, a água é encaminhada para uma tubulação de 75 mm da linha de esgoto, por onde irá escorrer até o sistema de filtragem.

Figura 8. Corte do aquário, apresentando suas tubulações e conexões.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para escolher o tamanho do aquário, diante da escassez de informações sobre a densidade ideal para a criação de peixes ornamentais marinhos em pesquisas acadêmicas, foram considerados os seguintes pontos:

- Informações provenientes de sites especializados em aquarismo, que indicam que peixes das espécies *P. paru* e *H. ciliaris* demandam aquários com capacidade superior a 300 L;
- A observação de que espécies menores requerem volumes menores;
- O estudo de Watson e Hill (2006), que relata que na produção de peixes ornamentais marinhos, os reprodutores eram mantidos em aquários menores ou iguais a 38 L; e
- A necessidade de otimização do espaço em empresas voltadas para a exportação.

Com base nessas considerações, foi determinado um volume que ocupasse menos espaço nas instalações de exportação, oferecesse a capacidade de acomodar um número maior de espécimes e fosse superior ao volume comumente utilizado para a manutenção de reprodutores. No entanto, é importante frisar que estudos científicos sobre a densidade de estocagem precisam ser conduzidos para avaliar o estresse enfrentado pelos peixes nessas instalações.

## 2.5 BALANÇO DE MASSAS

Nos sistemas de recirculação aquícola, o fluxo de água é o mecanismo responsável pelo transporte de oxigênio para os tanques de cultivo e pela remoção dos resíduos gerados dentro deles. (Timmons & Ebeling, 2013). Dessa forma, a partir dos conceitos de balanço de massa, é possível calcular os resíduos produzidos e consumidos dentro do sistema (por exemplo, produção dos compostos nitrogenados e consumo de oxigênio) e, com isso, determinar a vazão

mínima do projeto para manter os parâmetros de qualidade de água dentro dos limites estipulados (Timmons & Ebeling, 2013).

Nos sistemas convencionais de produção que utilizam recirculação, é essencial considerar as diversas fases de crescimento do animal e as estratégias de produção empregadas, o que resulta no aumento do consumo/produção e na necessidade crescente de vazão ao longo do cultivo. Contudo, tratando-se somente da manutenção dos animais para a exportação, o balanço de massa para determinação da melhor vazão de recirculação será feito somente para uma fase, considerando o peso final dos animais, ou seja, a situação mais crítica. Neste caso específico, determina-se a ausência de trocas de água, estabelecendo apenas um ciclo no qual a água que sai dos tanques de cultivo é direcionada para o sistema de filtragem e em seguida retorna.

Dessa forma, para determinação da vazão do projeto, foi realizado o balanço de massas para consumo de oxigênio dissolvido e produção de dióxido de carbono, amônia (NAT) e sólidos suspensos totais para a única fase trabalhada. Considerando os diferentes parâmetros analisados, foram determinados os diferentes valores de consumo/produção e requerimento de vazão mínima, estando apresentados no Tabela 2. A vazão máxima usada para manter um parâmetro específico de qualidade da água será maior do que o necessário para os outros, o que significa simplesmente que esses parâmetros de qualidade da água vão estar em valores "melhores" do que os alvos do projeto (Timmons & Ebeling, 2013). As considerações, fórmulas e índices utilizados para o cálculo estão disponibilizados no Tópico 3.1.

Tabela 2. Valores de consumo/produção e vazão necessária para o projeto.

Parâmetro	Consumo/Produção	Vazão mínima (m <sup>3</sup> /h)
Oxigênio dissolvido	90.000 mg O <sub>2</sub> /dia	1,1
Dióxido de carbono dissolvido	123.750 mg CO <sub>2</sub> /dia	0,14
Amônia (NAT)	8.280 mg NAT/dia	2,9
Sólidos suspensos totais (SST)	45.000 mg TSS/dia	0,08

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base nos resultados do balanço de massas, foi determinado que o parâmetro limitante foi o nitrogênio amoniacal total (NAT), resultando em uma vazão mínima de 2,9 m<sup>3</sup>/h.

## 2.6 FILTRAGEM MECÂNICA

Os sólidos impactam negativamente todos os aspectos de qualidade de água de um sistema de recirculação de aquicultura (RAS), portanto, o primeiro objetivo de qualquer RAS é a remoção de resíduos sólidos (Timmons & Ebeling, 2013). Esses sólidos são oriundos das fezes dos animais, bioflocos (bactérias vivas ou mortas) e alimentos não consumidos (Timmons & Ebeling, 2013). Considerando os diferentes tamanhos de sólidos, ocorre o aumento da dificuldade de remoção à medida que os sólidos vão se dissolvendo na água e diminuindo de tamanho, sendo necessário a utilização de diferentes processos unitários e conseqüentemente equipamentos para recuperar a qualidade de água. (Davison, 2018). Além disso, a remoção dos sólidos deve ocorrer rapidamente, impedindo que sejam dissolvidos na água (lixiviando nutrientes e dificultando sua remoção) e utilizados pelas bactérias, tornando fonte de amônia e consumindo oxigênio (Davison, 2018). Dessa forma, com o aumento da carga do sistema, ocorre uma sobrecarga nas unidades de aeração e biofiltração, podendo acarretar grandes problemas de qualidade de água (Davison, 2018).

### 2.6.1 Remoção de Sólidos Suspensos

Existem diversas soluções para a remoção de sólidos do sistema RAS, algumas delas requerem equipamentos caros e altamente eficientes, enquanto outras podem ser baratas de construir, mas menos eficazes ou exigir mais mão de obra. Em relação aos possíveis métodos de remoção de sólidos, podemos citar: decantadores de fluxo radial, filtros de esferas, filtros de areia, filtros de tambor, telas, filtros de cartucho ou tanques de decantação (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018). Todos esses métodos podem vantagens, desvantagens e aplicações apropriadas para cada cultivo.

Os métodos que utilizam a gravidade para a remoção de sólidos, incluem os decantadores de fluxo radial e tanques de decantação. Nessa situação, os sólidos são encaminhados para o fundo de um recipiente e devem ser periodicamente removidos. Ambos os métodos dependem do fluxo de água, turbulência da água, área da seção transversal (largura da bacia multiplicada pela altura) e do tipo de sólido que se busca ser retirado (Davison, 2018). Dessa forma, esses equipamentos não são indicados para sistemas com vazão elevada, pois impossibilitam a decantação dos sólidos caso não seja utilizado uma série de unidades de decantação ou unidades com tamanhos consideráveis – podendo chegar a tamanhos maiores que os próprios tanques de cultivo (Davison, 2018). Com base nisso, esse método de tratamento é recomendado para sistemas de pequena escala e que tenham disponibilidade de espaço, pois são de fácil construção (Davison, 2018), não se enquadrando para o projeto em questão.

Apresentando os equipamentos que utilizam o método de filtração com filtros, sendo o mais utilizado para remoção de sólidos, temos os filtros de tambor rotativo (Davison, 2018). Esses filtros permitem a remoção de diferentes tamanhos de sólidos, com fluxos de água elevados (vazão maiores que 240m<sup>3</sup>/h) e a remoção automatizada dos sólidos. Contudo, possuem um elevado custo de aquisição, necessitam de eletricidade, manutenção da unidade e mão-de-obra qualificada para operação (Davison, 2018).

Outros equipamentos de filtração utilizados, sendo uma forma mais simples de filtração, são os filtros com malha, manta acrílica (comumente conhecido no ramo do aquarismo como perlon), saco de pano (filtro bag) e filtros de cartucho (Davison, 2018). Esses equipamentos, devido a facilidade de implantação e baixo investimento, são indicados para situações em que os sistemas de criação são pequenos, destinados ao hobby dos aquarismos e nas exportadoras de peixes ornamentais (Nottingham et al., 2005; Davison, 2018). Contudo, se faz necessário realizar regularmente a retrolavagem e a limpeza ou substituição dos filtros. Pensando no cenário de empresas exportadoras que possuem diferentes sistemas de recirculação individualizados em funcionamento, realizar a limpeza e/ou reposição dos filtros diariamente se torna um custo em material, mão-de-obra e tempo.

Dessa forma, para otimizar o tempo das empresas na questão de limpeza de filtros e aumentar a eficiência de remoção de sólidos, serão utilizados filtros de meio granular. Esse método de filtração de sólidos envolve o uso de filtros de areia ou de esferas (*bead filter*), sendo o comportamento de ambos muito semelhante. Além de funcionar como filtro para as partículas sólidas, esses equipamentos podem ser utilizados para a filtração biológica (Timmons; Ebeling, 2013). Contudo, como desvantagem desse sistema, temos a necessidade de outro conjunto motobomba e custos com energia e água.

Apresentado por Davison (2018), o funcionamento desses equipamentos ocorre da seguinte forma: a água é bombeada para um recipiente redondo pressurizado cheio de esferas ou areia. Conforme a água passa pelo meio de filtração, os sólidos são retidos à medida que ficam presos em reentrâncias e fendas entre as esferas/areia. À medida que os sólidos se acumulam, a pressão dentro do recipiente aumenta, e os sólidos bloqueiam o caminho da água à medida que ela passa pelo meio de filtração. Eventualmente, a unidade precisa passar por



uma retrolavagem para remover os sólidos. Isso é possível desligando a bomba ou redirecionando o fluxo ao redor do filtro. As válvulas nas saídas de retrolavagem são então alternadas manualmente ou automaticamente, fazendo com que a água dentro do recipiente drene para uma linha de resíduos, levando consigo todos os sólidos acumulados. Frequentemente, há também uma maneira de agitar o meio de filtragem com ar ou água para soltar ainda mais os sólidos que podem estar presos entre as esferas/areia. Após a retrolavagem estar completa, o filtro pode ser alternado de volta para o modo de operação normal.

Os filtros de areia, apesar de serem comumente utilizados na aquicultura, não são indicados, principalmente para a remoção de sólidos em sistemas com alta carga. Isso ocorre devido a grande quantidade de sólidos gerados nas unidades aquícolas e devido a formação de biofilme no equipamento (Timmons & Ebeling, 2013). A partir do envolvimento dos grãos de areia pela formação do biofilme, ocorre uma adesão forte o suficiente para impedir que a pressão de bombeamento não seja capaz de suspender toda a coluna de areia durante a retrolavagem, não sendo realizado a plena remoção dos sólidos capturados (Shei, 2018). Dessa forma, o meio filtrante fica saturado e acaba não realizando a retenção de novos sólidos. Contudo, mesmo com essas implicações, os filtros de areia podem ser utilizados para a remoção de sólidos em sistemas de baixa carga ou sendo utilizados como filtro biológico (Timmons & Ebeling, 2013). Além disso, em questão de disponibilidade e valor de mercado em comparação com os filtros de esfera, os filtros de areia se tornam mais acessíveis, estando disponível em várias lojas de piscinas com valor inferior.

Para esse projeto, foi estipulado a utilização do *Bead Filter* modelo A6 da Altamar. Tendo em vista que, mesmo com a formação de biofilme, a coluna filtrante é facilmente agitada, possuindo menos implicações e com uma maior eficiência na remoção de sólidos comparados com filtros de areia (Shei, 2018). Esse modelo tem capacidade para suportar uma biomassa de até 20 kg, funcionando em uma faixa de vazão entre 4 e 6 m<sup>3</sup>/h. Além disso, usa tubulações de entrada e saída de 50 mm, tem uma área superficial de 144 m<sup>2</sup> e possui um compressor de ar instalado para a realização da retrolavagem.

Figura 9. *Bead Filter* A6 Altamar.



Fonte: Altamar.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

## 2.6.2 Filtragem de partículas finas

As partículas finas, definidas como sólidos suspensos e dissolvidos com menos de 30 µm de diâmetro, possuem tamanho considerado difícil de remoção com métodos tradicionais de filtração de sólidos (Davison, 2018). Essas partículas acarretam irritação nas brânquias dos peixes, aumento da demanda biológica de oxigênio e tornam a água com uma coloração amarronzada desagradável (Davison, 2018). Os métodos mais utilizados para remoção dessas partículas são o fracionador de espuma (Skimmer) e o tratamento com ozônio, ou ambos conectados (Davison, 2018). Além disso, os filtros de areia, cartucho e bolsa também podem retirar partículas de 1 a 20 micrômetros (Azevedo; Sanches; Neto, 2014). Junto com a remoção de sólidos, esses equipamentos também promovem a remoção de coliformes e outras bactérias, proporcionando a desinfecção da água via remoção de microrganismos (Azevedo; Sanches; Neto, 2014).

Apresentado por Davison (2018), os fracionadores de espuma funcionam a partir da injeção de um gás (ar e/ou ozônio) por um sistema venturi ou por difusor de ar dentro de uma coluna de água. Nesse processo, ocorre a geração de bolhas que, a partir da interação com a tensão superficial na interface água-gás, fazem um processo de adsorção de partículas tipicamente hidrofóbicas (surfactantes). Essas partículas são constituídas por pequenos sólidos, proteínas, gorduras e outras substâncias orgânicas surfactantes. À medida que as bolhas sobem na coluna de água, coletam as partículas e as encaminham para a superfície, formando espuma. Essa espuma transborda e é destinada a um copo de coleta, podendo ser autolimpante.

Os fracionadores de espuma devem ser considerados em todos os sistemas de água salgada, possuindo uma ótima eficiência na remoção de partículas finas devido às suas características físicas, diferente dos sistemas em água doce (Davison, 2018). Normalmente, esses equipamentos estão acoplados separadamente do fluxo principal da água, necessitando de um sistema de bombeamento. De acordo com Davison (2018), deve ser dimensionado para que a água que entra tenha um contato entre 90 e 120 segundos dentro do equipamento e, sendo discutível, a quantidade de água que passa pelo equipamento é cerca de 5% do fluxo principal. Contudo, existem diferentes equipamentos disponíveis no mercado, sendo importante o diálogo com os fabricantes para o dimensionamento adequado.

Em relação ao ozônio, pode ser utilizado sozinho ou em conjunto com o fracionador de espuma, com foco na desinfecção, remoção de partículas finas e retirada de cor da água. O ozônio possui capacidade de quebrar compostos orgânicos e flocular sólidos finos, dessa forma: facilita a remoção de partículas sólidas durante a filtração de sólidos com o aumento do tamanho das partículas devido à floculação; e torna algumas substâncias orgânicas (como, proteínas e gorduras) mais hidrofóbicas, aumentando a eficiência dos fracionadores de espuma (Davison, 2018). Verificou-se que uma dosagem de 10 a 20 gramas de ozônio por quilograma de ração é eficaz no aumento da qualidade da água sem deixar uma concentração residual excessiva na água (Davison, 2018).

Contudo, para esse projeto, foi escolhida apenas a utilização do fracionador de espuma para a remoção de partículas finas. Por se tratar de um sistema relativamente pequeno e muito semelhante ao praticado em aquários domésticos, foi escolhido equipamentos comercializados destinados aos entusiastas do aquarismo. Dessa forma, considerando que o sistema possui um volume total dos aquários de 1008 L, o equipamento escolhido foi o Skimmer Octo 180 da Ocean Tech. Suas características, segundo os dados do equipamento, são: é indicado para aquários até 1.100 L; possui uma bomba DC-3000 com controlador de vazão (750 a 3000 L/h);

suas medidas aproximadas são 22 cm de comprimento, 24 cm de largura e 58 cm de altura; o nível de água recomendado é de 15 a 20 cm; e o equipamento é bivolt. Considerando as medidas aproximadas do equipamento (0,03 m<sup>3</sup>) e as considerações de tempo de contato (90 a 120 segundos) propostas por Davison (2018), será necessário a utilização do controlador de vazão para manter os níveis adequados de contato, com 0,9 m<sup>3</sup>/h ou 1,2 m<sup>3</sup>/h. Contudo, esses valores estão aproximados, sendo necessário regular o equipamento posteriormente para uma melhor eficiência. O *skimmer* estará instalado dentro da caixa de equalização e, como indicado no equipamento, posicionado em um nível de água de 15 a 20 cm.

Figura 10. Skimmer Octo 180 da Ocean Tech.



Fonte: Ecotopaquarios.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

## 2.7 FILTRAGEM BIOLÓGICA

Um filtro biológico corresponde a um tanque com materiais que proporcionam uma área superficial suficientemente grande para suportar o máximo de biofilme. Esse biofilme é composto por uma comunidade de bactérias responsáveis por converter o nitrogênio amoniacal total (NAT) em nitrito (NO<sub>2</sub>) e, em seguida, em nitrato (NO<sub>3</sub>). Sendo comumente atribuída a conversão de NAT em NO<sub>2</sub> ao gênero de bactérias *Nitrosomonas* e, a conversão de NO<sub>2</sub> em NO<sub>3</sub> as *Nitrobacter*. Esse processo é conhecido como nitrificação, sendo de extrema importância devido a toxicidade relativa à amônia e ao nitrito, que são muito mais tóxicos aos peixes comparados ao nitrato. (Davison, 2018). Além da nitrificação, existe um grupo de bactérias anaeróbicas que realizam o processo de desnitrificação, transformando o nitrato em nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>). Contudo, o processo de desnitrificação ainda não é um método amplamente utilizado em sistemas de recirculação, sendo comumente realizadas trocas de água para a remoção do nitrato.

Os dois gêneros mencionados são bactérias quimioautotróficas, utilizando o nitrogênio como fonte de energia e o carbono inorgânico na construção de suas células. No processo de nitrificação, ocorre o consumo de oxigênio e a liberação de hidrogênio ionizado e dióxido de carbono, reduzindo o pH e consumindo a alcalinidade. Dessa forma, se faz necessário o dimensionamento adequado do sistema de oxigenação/aeração e um manejo adequado da

alcalinidade. Além disso, são bactérias de crescimento lento, sendo necessário planejamento da operação para possibilitar a adaptação e desenvolvimento do biofilme, impedindo variações dos parâmetros de qualidade de água. Esse processo pode demorar semanas ou meses até a estabilização da população (Davison, 2018).

A manutenção de filtros biológicos é uma tarefa complicada, tendo diferentes fatores que influenciam o seu desempenho e, além disso, deve estar em condições que atendam os parâmetros ideais para os organismos cultivados. Essas populações bacterianas são afetadas por mudanças em seu ambiente, como variações no pH, temperatura, concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT), salinidade e níveis de oxigênio (Davison, 2018).

Em relação ao pH, sua faixa ideal de operação é de 7,0 a 8,0, sendo que em pH muito ácido pode cessar completamente o funcionamento do biofiltro (Davison, 2018). No caso da temperatura e salinidade, sistemas que trabalham com água quente são capazes de nitrificar 150% mais NAT por m<sup>2</sup> em comparação à sistemas de água fria e sistemas de água doce são capazes de nitrificar 100% a mais que na água salgada (Davison, 2018).

Um ponto chave para um bom funcionamento dos biofiltros é a realização de uma efetiva remoção de sólidos. No caso de uma ineficiente filtragem de sólidos, aumenta a concentração de carbono orgânico no sistema, propiciando o crescimento de bactérias heterotróficas. Essas bactérias heterotróficas crescem em um nível mais acelerado que as nitrificantes, competindo por espaço, oxigênio e nutrientes. Esse cenário não é favorável para o funcionamento de um biofiltro quimioautotrófico, diminuindo a sua eficiência (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018).

Existem diferentes equipamentos e mecanismos utilizados para realização da filtragem biológica, incluindo filtros de gotejamento, filtros de leito estático, filtros de microesferas, filtros de areia e biorreatores de leito móvel (MBBR) (Davison, 2018). Ultimamente, o MBBR se tornou o padrão em grandes sistemas de recirculação de água (RAS), mas todos os métodos têm sua aplicabilidade (Timmons; Ebeling, 2013; Davison, 2018).

Dessa forma, o método de tratamento biológico escolhido foi o biorreator de leito móvel (MBBR). O MBBR é um processo de tratamento biológico de crescimento baseado em um reator de biofilme de operação contínua e sem entupimento, com baixa perda de carga, uma área de superfície de biofilme altamente específica e sem necessidade de retrolavagem (Timmons; Ebeling, 2013). O MBBR foi adotado pela maioria dos projetistas e operadores de RAS devido à sua confiabilidade, previsibilidade e baixo custo (Davison, 2018). Em um MBBR, a água flui pelo biofiltro onde se encontram meios flutuantes agitados por uma aeração constante.

O biorreator de leito móvel dimensionado possui 105 L de volume útil e necessita de 36 L de meio filtrante Bio media K1 da Sarlo Pond. O tanque utilizado para o biorreator é uma caixa plástica modelo MS130 da Mercoplasa. O sistema de aeração utilizado está descrito no Tópico 2.8. As considerações para o dimensionamento estão detalhadas no Tópico 3.2.

Figura 11. Bio Media K1 Sarlo Pond.



Fonte: Gruposarlo.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

Figura 12. Caixa plástica modelo MS130 da Mercoplasa.



Fonte: Mercoplasa.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

## 2.8 SISTEMA DE AERAÇÃO

Os sistemas de aeração são de extrema importância em sistemas de recirculação aquícola, fornecendo oxigênio para a respiração dos peixes e bactérias. Como apresentado no balanço de massas, a demanda de oxigênio está ligada com a quantidade de ração fornecida e a taxa de consumo dos peixes e bactérias. As concentrações adequadas de oxigênio dissolvido na água para a maioria dos animais trabalhados em aquicultura devem estar acima de 5 mg/L, sendo que sua saturação depende principalmente da temperatura e da salinidade do meio.

Para a realização da incorporação de oxigênio na água, são utilizados dois métodos, a aeração ou a oxigenação. Esses dois termos são frequentemente confundidos ou usados incorretamente, sendo a aeração referente a incorporação de ar atmosférico na água, enquanto a oxigenação refere-se ao uso de oxigênio puro para alcançar o mesmo resultado (Davison, 2023). Em sistemas com densidade de estocagem maior que 40 kg/m<sup>3</sup>, utilizar o método de aeração para incorporação de oxigênio dissolvido na água é ineficiente, sendo necessária a

utilização de geradores ou cilindros de oxigênio para atender a demanda dos organismos (Davison, 2023).

A aeração é apropriada e indicada para densidades de estocagem mais baixas ( $< 25 \text{ kg/m}^3$ ) ou em sistemas com maior taxa de renovação de água (Davison, 2018), sendo o caso desse projeto. A utilização de sopradores e compressores de ar em conjunto com pedras ou mangueiras porosas são os equipamentos mais utilizados para a realização da aeração. As eficiências energéticas da aeração são de aproximadamente  $0,2 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$  sob condições normais de aquicultura (Davison, 2018). Além disso, a transferência de oxigênio das pedras porosas é ineficiente, permitindo uma taxa de 5 a 10% de absorção (Timmons & Ebeling, 2013). Para difusores de bolhas finas (100 a  $500 \mu\text{m}$ ), podem apresentar 50% de eficiência de transferência de oxigênio, porém requerem uma fonte de oxigênio de alta pressão (1,7 a 3,4 atm) (Timmons & Ebeling, 2013). Ambos os equipamentos para difusão do ar no meio estão sujeitos a incrustações químicas e orgânicas, necessitando de manutenções.

As considerações de dimensionamento estão descritas no memorial de cálculo (Tópico 3.3), apresentando uma necessidade de um equipamento com potência maior que 70 W e uma vazão maior que 188 L/min. Com base nisso, foi escolhido o compressor de ar ACO-380 da marca Hailea, o qual permite uma vazão de 280 L/min e possui uma potência de 380 W.

Figura 13. Compressor de ar ACO-380 Hailea.



Fonte: Stxlaser.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

Para a difusão de ar no sistema serão utilizados dois materiais, um destinado ao biorreator e outros para os aquários. Para a realização da difusão de ar no biorreator, foram utilizadas 4 pedras porosas Disco/Bolacha de 13 cm da Air Stone com vazão mínima de 14 L/min. Para os aquários, será utilizado a pedra porosa Bola Grande Boyu S-05 com vazão mínima de 5 L/min, sendo disponibilizadas 1 unidade por aquário, totalizando 18. Para a distribuição de ar, será utilizado mangueiras silicone de 6 mm.

Figura 14. Pedra porosa disco/bolacha de 13 cm da Air Stone



Fonte: MercadoLivre.com.br. Acessado em: 04/11/2023.

Figura 15. Pedra porosa bola grande Boyu S-05.



Fonte: MercadoLivre.com.br. Acessado em: 04/11/2023.

Figura 16. Mangueira de silicone.



Fonte: MercadoLivre.com.br. Acessado em: 04/11/2023.

## 2.9 SISTEMA DE DESINFECÇÃO

As doenças bacterianas e virais criam sérios problemas na aquicultura e, tendo em vista o valor agregado dos peixes ornamentais marinhos, a mortalidade dos animais por doença se



torna um custo considerável. Dessa forma, mesmo não sendo possível a erradicação de todos os patógenos no sistema, manter as populações desses organismos reduzidas permite diminuir a ameaça de surtos de doenças (Davison, 2018). Para realização da desinfecção da água em sistemas de recirculação aquícolas, são comumente utilizados a luz ultravioleta (UV) e o ozônio (O<sub>3</sub>). Contudo, em sistemas marinhos, a utilização do ozônio não é indicada devido a potencialidade de produção de compostos de brometo tóxicos (Davison, 2018), sendo os reatores UV os mais utilizados na produção de ornamentais marinhos (Watson; Hill, 2006)

Entretanto, caso sejam bem dimensionados, a utilização de ozônio se torna um eficiente mecanismo para a remoção de patógenos e, como já mencionado, para a remoção de partículas finas. Porém, além da produção de compostos de brometo tóxicos em água salgada, a sua utilização como mecanismo de desinfecção é de difícil aplicação em sistemas com alta taxa de vazão e necessita de monitoramento e controle contínuos da concentração de ozônio na água e no ar (Davison, 2018).

Dessa forma, foi determinado a utilização dos reatores UV para atender a demanda de desinfecção do projeto. Esse equipamento consiste na passagem da água por um compartimento ou canal onde estão dispostas lâmpadas UV envoltas em mangas de quartzo. Essas lâmpadas são projetadas para emitir luz com um comprimento de onda entre 190 e 400 nanômetros (nm), sendo 262 nm a mais destrutiva para a vida biológica (Davison, 2018). A luz UV natural e artificial pode danificar os microrganismos alterando diretamente e indiretamente os ácidos nucleicos, resultando em inativação e morte (Timmons; Ebeling, 2013; Lekang, 2007).

Um dos pontos mais relevantes para um bom funcionamento de um reator UV, é a presença de sólidos e a transparência da água (Lekang; 2007). De modo geral, os sistemas de desinfecção devem ser instalados na última etapa de tratamento, disponibilizando uma água com uma menor concentração de sólidos, aumentando a reação dos raios UV com as partículas de interesse (patógenos). Além disso, os equipamentos devem passar por manutenções à medida que as mangas de quartzo sujam, pois a sujeira atrapalha a passagem dos raios.

Para fazer um projeto de sistema de desinfecção UV, deve-se levar em consideração a dose de radiação, o tempo de retenção de água na câmara e a transmissão do raio UV (Lekang, 2007). No memorial de cálculo, no Tópico 3.4, é apresentado a metodologia e considerações que levaram à escolha do equipamento. Sendo esse, o reator UV Ocean Tech de 36 W.

O equipamento, segundo dados do fornecedor, possui capacidade de reagir em uma faixa de 4 a 6 m<sup>3</sup>/h. Está disponível para voltagem 127 e 220 V. Possui, como medidas, 46 cm de altura e 8 cm de largura. Ele estará instalado antes da entrada de água dos aquários, sendo fixado na estrutura de alumínio.

Figura 17. Reator UV Ocean Tech de 36 W.





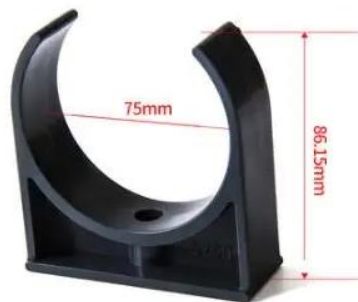
## 2.10 SISTEMA HIDRÁULICO

Para esse projeto, foi realizado o dimensionamento para o abastecimento e drenagem dos aquários, sendo o funcionamento hidráulico diferente entre os dois. A tubulação de abastecimento funciona sob pressão e a de drenagem sob gravidade, sendo necessário o emprego de duas metodologias de dimensionamento.

A tubulação utilizada para o abastecimento dos aquários será de PVC da linha para água fria com diâmetro de 32 mm, para a drenagem será de PVC da linha esgoto com diâmetro de 75 mm e, para a parte do sistema de filtragem, uma tubulação de PVC da linha para água fria com diâmetro de 50 mm. As conexões necessárias para a tubulação de abastecimento e drenagem estão apresentadas na Tabela 4.

Ambas as tubulações serão instaladas nas colunas da estrutura de aço inox com a utilização de abraçadeiras que permitam o encaixe das tubulações, permitindo sua remoção de modo facilitado para os momentos de eventuais manutenções. Para a tubulação de 32 mm, será utilizado a Abraçadeira Click da Inpol/Maxidutos e, para a tubulação de 75 mm, a abraçadeira da SgooHan.

Figura 18. Abraçadeira SgooHan de 75 mm.



Fonte: Aliexpress.com. Acessado em: 01/11/2023.

Figura 19. Abraçadeira Click 32mm da Inpol/Maxidutos.



Fonte: Mecadolivre.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

A motobomba selecionada para atender a demanda de vazão ( $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e altura manométrica ( $55.75 \text{ mca}$ ), foi a motobomba centrífuga multiestágio Jacuzzi modelo JMH2-60-T. Esse modelo possui  $1,5 \text{ cv}$  de potência. Para atender o filtro de esferas (*bed filter*), considerando uma vazão necessária de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  para o equipamento, será utilizado uma motobomba AC-9000 da Ocean Tech com capacidade de  $9000 \text{ L/h}$ . Esse equipamento possui controlador, permitindo manter a vazão adequada mesmo com a perda de carga.

Figura 20. Motobomba AC-9000 da Ocean Tech.



Fonte: MercadoLivre.com.br. Acessado em: 01/11/2023.

Figura 21. Motobomba centrífuga multiestágio Jacuzzi modelo JMH2-60-T



Fonte: Jacuzzi (2020).

### 3 MEMORIAL DE CÁLCULO

#### 3.1 BALANÇO DE MASSA

Para determinação do balanço de massas do projeto, foi considerado que o sistema em questão não busca o crescimento dos animais, sendo somente para a manutenção deles em seu tamanho de comercialização, e que existe somente um fluxo de água presente. Essa

consideração foi feita, simplificando o processo de balanceamento. Contudo, o sistema em questão vai apresentar equipamentos que funcionam separados do circuito principal. Além disso, foi considerado que todos os aquários formam apenas um tanque. Os parâmetros e índices utilizados no projeto são apresentados a seguir.

Em relação aos índices zootécnicos e nutricionais, foram considerados:

- Biomassa estocada: 13,5 kg;
- Densidade estocagem: 13,5 kg/m<sup>3</sup>;
- Taxa de alimentação: 0,5 % do peso vivo/dia = 0,068 kg de ração/dia;
- Nível de proteína na ração: 50%.

Os valores de vazão foram calculados para manter os seguintes níveis de qualidade de água:

- Oxigênio dissolvido: 5 mg/L;
- Nitrogênio amoniacal total (NAT): 0,1 mg/L;
- Dióxido de carbono: 20 mg/L;
- Total de sólidos suspensos: 10 mg/L.

A concentração de nitrogênio amoniacal total (TAN) foi determinada para atender uma concentração de amônia não ionizada na concentração de 0,004 a 0,012 mg/L. Considerando uma salinidade de 32 a 35 pmm, em um pH variando entre 8 e 8,5 a uma temperatura de 25°C, a amônia tóxica apresenta de 4,28 a 12,4% da concentração de NAT (Bower; Bidwell, 1978).

Os valores de eficiência para os dispositivos de tratamento foram determinados de acordo com o apresentado por Timmons e Ebeling (2013).

- 90% para a transferência de oxigênio;
- 45% para remoção de NAT;
- 60% para remoção de dióxido de carbono;
- 90% para remoção do total de sólidos suspensos.

A eficiência para remoção de TAN apresentada por Timmons e Ebeling é de 35%. Contudo, por ser um sistema que necessita de uma concentração muito baixa desse parâmetro, foi considerado um aumento de eficiência em 10%. Esse aumento em eficiência foi baseado em dois pontos: consideração do filtro de esferas na remoção de compostos nitrogenados e a circulação extra no biorreator. Esse processo de bombeamento extra foi considerado uma opção de aumento de eficiência do biorreator por Davison (2018).

Para o cálculo do balanço de massas foram consideradas as equações propostas por Timmons e Ebeling (2013):

$$\text{(Equação 1) } Q = \frac{P}{(C1-C2)}$$

$$\text{(Equação 2) } C2 = C1 + \frac{T}{100} * (Cbest - C1)$$

A equação 1 corresponde a equação geral do balanço de massa, onde C1 corresponde a concentração de saída, C2 a concentração de entrada no tanque e P a taxa de produção ou de consumo (negativa) de um determinado parâmetro. Por sua vez, a equação 2 corresponde ao

impacto de um dispositivo de tratamento na qualidade de água de entrada. Onde, T se refere a eficiência do tratamento (%) e  $C_{best}$  referente ao melhor resultado obtido por um sistema de filtragem (por exemplo, zero amônia). Para a determinação da vazão, primeiro deve ser resolvido a equação 2, seguido pelo cálculo da taxa de produção/consumo e a equação 1.

### 3.1.1 Vazão necessária para oxigênio dissolvido.

Geralmente, por se tratar do parâmetro de maior importância para os sistemas de recirculação aquícola, afetando diretamente o metabolismo dos animais cultivados e do funcionamento do sistema de filtragem biológica, o oxigênio dissolvido é o parâmetro de controle da vazão de projeto (Timmons & Ebeling, 2013).

Em sistemas com alta carga são utilizados geradores de oxigênio ou cilindros de oxigênio puro para atender as demandas do projeto, permitindo aumentar os níveis de saturação do gás. Contudo, por se tratar de um projeto com baixa biomassa estocada, será utilizado apenas um sistema de aeração convencional com sopradores de ar. Dessa forma, o nível de saturação de oxigênio da água vai estar relacionado, principalmente, com a salinidade e a temperatura. Contudo, a pressão atmosférica da região também vai interferir na saturação. Com isso, considerando o empreendimento estando no nível do mar, em uma temperatura de 28°C e uma salinidade de 35 ppm, a concentração de oxigênio dissolvido na água será de 6,424 ppm (Timmons & Ebeling, 2013).

O cálculo do consumo de oxigênio (P) ocorre a partir da utilização do gás no metabolismo dos peixes e bactérias (heterotróficas e autotróficas) (Timmons & Ebeling, 2013). Para os peixes, é considerado o consumo de 0,25 kg de oxigênio por kg de ração. No caso das bactérias, as nitrificantes consomem 0,12 kg de O<sub>2</sub> e as heterotróficas 0,13 kg de O<sub>2</sub> por kg de ração. Dessa forma, totalizando 0,5 kg de oxigênio por kg de ração. Pensando numa postura conservadora, pode ser utilizado o consumo de 1 kg de O<sub>2</sub> para cada kg de ração. No caso de biofiltros arejados, o consumo de oxigênio pelas bactérias pode ser parcialmente reduzido. Dessa forma, por utilizar um filtro biológico arejado (MBBR), foi considerado o consumo de 0,5 kg, escolhendo uma postura medianamente conservadora.

Calculando a concentração de oxigênio da água de entrada:

$$C_2 = 5 \text{ mg/L} + \frac{90}{100} * (6,424 \text{ mg/L} - 5 \text{ mg/L}) = 6,28 \text{ mg/L}$$

Em seguida, calculando o consumo de oxigênio (P):

$$P = \left( \frac{0,5 \text{ kg O}_2}{\text{kg de ração}} \right) * \left( \frac{0,068 \text{ kg de ração}}{\text{dia}} \right) * \left( \frac{10^6}{\text{kg}} \right) = 33.750 \text{ mg O}_2/\text{dia}$$

Por fim, para estimar a vazão mínima para esse parâmetro:

$$Q = \left( \frac{33.750 \text{ mg O}_2/\text{dia}}{(6,3 - 5)\text{mg O}_2/\text{L}} \right) * \left( \frac{10^3 \text{ L}}{24.000 \text{ h}} \right) = 1,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dessa forma, a vazão mínima de projeto para atender a demanda de oxigênio dissolvido é de 1,1 m<sup>3</sup>/h.

### 3.1.2 Vazão necessária para nitrogênio amoniacal total (TAN).

Considerando a utilização de um biofiltro aerado com eficiência de remoção (T) de 45%, mantendo uma concentração de TAN inferior a 0,1 mg/L nos aquários e um Cbest igual a 0,0 mg/L. Calculando a concentração (C2) da água de abastecimento dos aquários:

$$C2 = 0,1 \text{ mg/L} + \frac{45}{100} * (0 \text{ mg/L} - 0,1 \text{ mg/L}) = 0,055 \text{ mg/L}$$

Para o cálculo da produção total de TAN (P) no sistema, é necessário saber a taxa de alimentação diária (0,068 kg de ração por dia) e nível de proteína da ração (50 %). Além disso, deverá ser considerado que para cada kg de proteína na ração, será produzido 0,092 kg de TAN (Timmons & Ebeling, 2013).

$$P = \left( \frac{0,068 \text{ kg ração}}{\text{dia}} \right) * \left( \frac{0,50 \text{ kg de proteína}}{\text{kg ração}} \right) * \left( \frac{0,092 \text{ kg TAN}}{\text{kg proteína}} \right) * \left( \frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}} \right)$$

$$P = 3.105 \text{ mg TAN/dia}$$

Voltando a equação geral do balanço de massas:

$$Q = \left( \frac{3.105 \text{ mg TAN}}{\text{dia}} \right) * \left( \frac{10^3 \text{ L}}{24.000 \text{ h}} \right) = 2,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dessa forma, a vazão mínima de projeto para atender a demanda de oxigênio dissolvido é de 2,88 m<sup>3</sup>/h.

### 3.1.3 Vazão necessária para dióxido de carbono dissolvido.

Calculando a concentração de entrada (C2) necessária para retirar a produção de CO<sub>2</sub>, mantendo uma concentração máxima de 20 mg/L, com uma eficiência de remoção (T) de 70%, um Cbest de 0,5 mg/L e assumindo que o ar atmosférico é usado com uma concentração de 320 ppm de CO<sub>2</sub> para remoção.

$$C2 = 20 \text{ mg/L} + \frac{70}{100} * \left( 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 6,35 \text{ mg/L}$$

A produção (P) de dióxido de carbono é baseada no consumo de oxigênio pelos peixes e bactérias (0,5 kg de O<sub>2</sub> por kg de ração), onde 1,375 kg de CO<sub>2</sub> são produzidos para cada kg de O<sub>2</sub> consumido (Timmons & Ebeling, 2013). 2

$$P = \left(0,068 \text{ kg} \frac{\text{ração}}{\text{dia}}\right) * \left(\frac{0,5 \text{ kg O}_2}{\text{kg de ração}}\right) * \left(\frac{1,375 \text{ kg CO}_2}{\text{kg O}_2 \text{ consumido}}\right) * \left(\frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}}\right)$$

$$P = 46.406 \text{ mg CO}_2/\text{dia}$$

Voltando a equação geral do balanço de massas:

$$Q = \left(\frac{46.406 \text{ mg CO}_2/\text{dia}}{(20 - 6,35)\text{mg CO}_2/\text{dia}}\right) * \left(\frac{10^3 \text{ L}}{24.000 \text{ h}}\right) = 0,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dessa forma, a vazão mínima de projeto para atender a demanda de dióxido de carbono dissolvido é de 0,14 m<sup>3</sup>/h.

### 3.1.4 Vazão necessária para total de sólidos suspensos (SST).

Por fim, finalizando o balanço de massas, a concentração de sólidos suspensos na água vai estar diretamente relacionado com a taxa de alimentação. Dessa forma, considerando uma concentração de 10 mg/L, uma eficiência de remoção (T) de 90 % e um valor C<sub>best</sub> de 0,0 mg/L.

$$C_2 = 10 \text{ mg/L} + \frac{90}{100} * (0,0 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L}) = 1 \text{ mg/L}$$

Como mencionado, a produção (P) de sólidos suspensos é baseada na taxa de alimentação, supondo que a alimentação tenha 0% de teor de umidade. Além disso, a taxa de produção de sólidos é de 0,25 kg do total de sólidos suspensos por kg de ração (Timmons & Ebeling, 2013).

$$P = \left(0,068 \text{ kg} \frac{\text{ração}}{\text{dia}}\right) * \left(\frac{0,25 \text{ kg TSS}}{\text{kg de ração}}\right) * \left(\frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}}\right) = 16.875 \text{ mg SST}/\text{dia}$$

Voltando a equação geral do balanço de massas:

$$Q = \left(\frac{16.875 \text{ mg SST}/\text{dia}}{(10 - 1)\text{mg SST}/\text{dia}}\right) * \left(\frac{10^3 \text{ L}}{24.000 \text{ h}}\right) = 0,08 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dessa forma, a vazão mínima de projeto para atender a demanda de sólidos suspensos totais é de 0,08 m<sup>3</sup>/h.

## 3.2 DIMENSIONAMENTO DO BIOFILTRO.

Como mencionado, será utilizado um biorreator de leito móvel (MBBR) para a filtragem biológica do sistema. A metodologia utilizada para o dimensionamento foi de acordo com Timmons e Ebeling (2013), compreendendo em 5 etapas.

A primeira e segunda etapa compreende calcular as cargas dos parâmetros de qualidade da água e a vazão mínima requerida no sistema (oxigênio, CO<sub>2</sub>, NAT, TSS). Esses cálculos já

foram realizados no tópico anterior, de balanço de massas, apresentados no Tabela 2. Dessa forma, a vazão necessária é a mesma que a vazão do projeto, 2,88 m<sup>3</sup>/h.

Sendo a terceira etapa de dimensionamento, deve ser realizado o cálculo da produção de NAT (P nat) no sistema. Segue o mesmo processo do cálculo no balanço de massas, entretanto, a unidade trabalhada referente a produção de NAT no sistema varia em comparação ao balanço de massas, sendo utilizado kg NAT/dia. Dessa forma, a produção de NAT é de 0,003 kg NAT/dia.

O quarto passo consiste no cálculo do volume de meio suporte (V meio) necessário, tendo base na taxa de nitrificação volumétrica (VTR) associada à mídia usada e a produção de NAT (P tan) do sistema. Nesse caso, foi estipulado o uso do meio suporte K1 da Sarlo. Segundo Pfeiffer e Wills (2011), foi determinada uma VTR para meio suporte K1 de cerca de 82,5 g NAT/m<sup>3</sup> para sistemas marinhos em uma baixa taxa de alimentação.

Dessa forma, calculando:

$$V_{\text{meio}} = \frac{P_{\text{nat}} \text{ (kg NAT/dia)}}{VTR \text{ (kg NAT/m}^3 \text{ * dia)}}$$

$$V_{\text{meio}} = \frac{0,003 \text{ kg NAT/dia}}{0,083 \text{ kg NAT/m}^3 \text{ * dia}} = 0,036 \text{ m}^3 = 36 \text{ L de meio suporte}$$

Para calcular o volume do biorreator, é necessário calcular a área da seção transversal dada uma relação altura/diâmetro (D). Essa relação pode variar entre 1 e 1,2, dependendo principalmente da eficácia da mistura e da aeração, e o diâmetro não deve exceder 2 m. Outra questão que deve ser determinada, é a taxa de ocupação do meio dentro do biorreator, estando em uma faixa de 50% e 70% de preenchimento. Nesse caso, foi estipulada uma taxa de 50 % de ocupação, sendo necessária a utilização de uma caixa de 72 L.

$$D_{\text{biorreator}} = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{\text{meio}}}{\pi * 1}}$$

$$D_{\text{biorreator}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,036 \text{ m}^3}{3,14 * 1}} = 0,45 \text{ m}$$

Com base na relação altura/diâmetro, seria necessário um tanque com 0,45 m de diâmetro e de altura. Contudo, segundo Davison (2018), as proporções podem ser alteradas para atender o volume necessário e de acordo com os produtos disponíveis no mercado. Com base nesses dados, foi estipulado o uso da caixa do modelo MS130. Essa caixa possui, como dimensões internas: 40 cm de altura, 51 cm de largura e 69 cm de comprimento, totalizando uma capacidade de 130 L. Será deixado uma borda livre de 11 cm, gerando um volume de 105 L. Além disso, será instalado na entrada e saída do biorreator uma tela, impedindo a passagem dos meios filtrantes. O volume extra disponível, ultrapassando o volume da recomendação de ocupação, aumenta a estabilidade do sistema devido a maior quantidade de água e possibilita uma agitação facilitada dos meios filtrantes dentro do biorreator.

Em relação aos requisitos de aeração e mistura, seriam necessários aproximadamente 5 vezes o volume do reator em m<sup>3</sup>/h com a adição de 50 % de capacidade ociosa. Dessa forma, o volume de ar necessário é de 13 L/min. Essa vazão de ar foi inserida no dimensionamento do sistema de aeração para determinar o equipamento utilizado. Sendo calculado da seguinte forma:

$$V_{ar} = \frac{5}{h} * V_{biorreator}$$

$$V_{ar} = \frac{5}{h} * 0,105 m^3 * 1,5 = 0,79 m^3/h = 13 L/min$$

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AERAÇÃO

Para a escolha do equipamento de aeração foi considerado: a eficiência energética de incorporação de oxigênio por compressores de ar de 0,2 kg O<sub>2</sub>/(Kw/h), um consumo de oxigênio de 0,034 kg O<sub>2</sub>/dia, uma concentração de oxigênio presente no ar de 21%, a concentração de saturação de oxigênio do projeto (6,424 mg/L) e uma taxa de eficiência de 10% dos equipamentos de difusão.

Nesse caso, seguindo a taxa de eficiência energética dos compressores de ar, será necessária uma potência equivalente à 70 W. Contudo, para validar essa taxa de eficiência, foi calculado a vazão necessária de ar para atender a concentração de saturação de oxigênio do projeto (6,4 mg/L) e o consumo de oxigênio calculado (0,034 kg O<sub>2</sub>/dia).

Dessa forma, calculamos o volume de oxigênio dissolvido por dia:

$$6,4 \text{ mg } O_2 - L$$

$$34000 \text{ mg} - X$$

$$X = 5.312 \text{ L } O_2 / \text{ dia} = 5,3 \text{ m}^3 O_2 / \text{ dia}$$

Agora, calculando a vazão necessária do compressor de ar, considerando a eficiência dos equipamentos de difusão (Q oxigênio) e a concentração de oxigênio presente no ar (Q ar), temos:

$$Q_{oxigênio} = \frac{5.3 \text{ m}^3 O_2 / \text{ dia}}{10 \%} = 53 \text{ m}^3 O_2 / \text{ dia}$$

$$Q_{ar} = \frac{53 \text{ m}^3 O_2 / \text{ dia}}{21 \%} = 252 \frac{\text{m}^3 \text{ ar}}{\text{dia}} = 175 \text{ L ar/min}$$

Com isso, determinamos a vazão necessária do sistema de aeração para atender a demanda de oxigênio dos peixes e bactérias. Contudo, como está sendo projetado um filtro MBBR, existe uma demanda extra de ar para realizar a agitação dos meios filtrantes (13 L/min). Dessa forma, a vazão mínima necessária será de 188 L/min.



### 3.4 DIMENSIONAMENTO DO REATOR UV

Para a escolha do reator UV, foi considerada a fórmula de dimensionamento proposto por Lekang (2007) e considerações sobre os equipamentos. A escolha do reator UV 36 W da Ocean Tech teve grande relação com a disponibilidade e acessibilidade do produto no mercado. Dessa forma, foi levado em consideração aproximações do tamanho do equipamento, uma dose de 30 mWs/cm<sup>2</sup> e que a transmitância da água em sistemas de aquicultura varia em torno de 70 a 90% (Davison, 2018). Uma dose de 30 mWs/cm<sup>2</sup> é suficiente para matar 99,99% das bactérias gram-positivas e gram-negativas (Kasai et al., 2002) e é uma dose normal de reatores UV utilizada em sistemas de recirculação comerciais (Davison, 2018).

Segundo Lekang (2007), o dimensionamento de um reator UV pode ser realizado pela fórmula:

$$D = \frac{P}{S} * T o^L * t$$

Onde:

D = dose de radiação (mWs/cm<sup>2</sup>)

P = efeito de radiação (W)

S = área da superfície irradiada (cm<sup>2</sup>)

To = transmitância da água através de 1 cm (%)

L = espessura da camada de água que é irradiada (cm)

t = tempo necessário para radiação(s).

O equipamento em questão possui 46 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro. Com base nisso, foi considerado: a lâmpada é montada no meio de uma câmara cilíndrica com raio de 5 cm; o comprimento da lâmpada é de 40 cm; uma área irradiada de 0,126 m<sup>2</sup>; a transmissão UV através de uma camada de água (transmitância) de 1 cm igual a 80 %; considerando o volume aproximado e a vazão de projeto equivalente a 3 m<sup>3</sup>/h, o tempo de permanência da água no equipamento é de 3,8 s; a potência do equipamento de 36 W; e com o objetivo de alcançar uma dose de 30 mWs/cm<sup>2</sup>.

Portanto, seguindo a equação:

$$D = \frac{36}{1260 \text{ cm}^2} * 0,8^1 * 3,8s$$

$$D = 0,036 \text{ Ws/cm}^2 = 36 \text{ mWs/cm}^2$$

Com base nisso, o equipamento em questão possui a capacidade de atender a demanda de vazão do projeto e matar 99,99% das bactérias gram-positivas e gram-negativas, pois ultrapassará a dose necessária de acordo com a literatura.

### 3.5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

#### 3.5.1 Dimensionamento da tubulação de recalque

Para encontrar o diâmetro adequado para a tubulação de recalque foi utilizado o critério da velocidade. Considerando que a jornada de trabalho do sistema será longa (24 horas/dia), e que quanto maior a velocidade do fluido maior a perda de carga, a velocidade de escoamento para tubulações de recalque escolhida como referência será de 1,5 m/s. Foi considerada uma vazão de 3 m<sup>3</sup>/h (0,0008 m<sup>3</sup>/s).

Equação utilizada para encontrar o melhor diâmetro (D):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \times \pi}} D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s} \times \pi}} = 0,026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$$

Tendo como base o valor encontrado para o diâmetro (26 mm), segundo o catálogo técnico das tubulações da linha soldável da Tigre, as tubulações com os diâmetros mais próximos do encontrado são de 20, 25 e 32 mm. Para encontrar o melhor diâmetro, se faz a comparação das velocidades aplicadas. Dessa forma:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Para a tubulação de 20 mm:

$$V = \frac{4 \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times (0,020 \text{ m})^2} = 2,55 \text{ m/s}$$

Para a tubulação de 25 mm:

$$V = \frac{4 \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times (0,025 \text{ m})^2} = 1,63 \text{ m/s}$$

Para a tubulação de 32 mm:

$$V = \frac{4 \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times (0,032 \text{ m})^2} = 0,99 \text{ m/s}$$

De acordo com os resultados obtidos, a tubulação de recalque que será utilizada para o projeto vai ser a de 32 mm, tendo em vista que ela ficou abaixo da velocidade máxima, diferente dos outros diâmetros.

### 3.5.2 Altura geométrica total

A altura geométrica total é a soma da altura de recalque com a altura de sucção. A altura de sucção é a distância entre o nível dinâmico da captação (nível da água) e o bocal de sucção da bomba, ou seja, é a tubulação antes da bomba. Nesse caso, a altura de sucção é inexistente, tendo em vista que estão abaixo do nível de água utilizado. A altura de recalque é o desnível geométrico (altura em metros) entre o bocal de sucção da bomba e o ponto de maior elevação do fluido até o destino da instalação, no caso desse projeto, os aquários do segundo andar da bancada. Dessa forma, a altura de recalque é de 1,95 mca. Portanto, a altura geométrica total desse projeto é igual a altura de recalque.

### 3.5.3 Comprimento da tubulação de recalque

Calculando o comprimento das tubulações a partir do desenho, foi determinado que a tubulação de recalque possui 9,59 m.

### 3.5.4 Cálculo da perda de carga na tubulação de recalque

O contato da água com a tubulação gera uma dissipação de energia, que pode ser traduzida em perda de carga. Esse fator pode aumentar ou diminuir dependendo do material da tubulação. A perda de carga distribuída será obtida pelo método Método de Darcy-Weisbachou. Já a perda de carga Localizada, vamos utilizar o método dos Comprimentos Equivalentes.

Conexões, equipamentos e outros parâmetros que afetam na perda de carga localizada presentes na tubulação de recalque e suas respectivas unidades:

- Tê Soldável
- Torneiras
- Curva 90° Soldável
- Filtro UV
- Saída da canalização

Dados necessários para o cálculo de perda de carga:

- Comprimento da tubulação de sucção = 9,59 m;
- Vazão (Q) = 0,0008 m<sup>3</sup>/s;
- Diâmetro da tubulação (D) = 32 mm = 0,032m;
- Viscosidade cinemática do fluido (25°C) = 0,893x10<sup>-6</sup>
- Rugosidade da tubulação plástico (PVC) = 0,015 mm
- Velocidade média = 0,99 m/s

Pela equação de Darcy-Weisbachou, obtemos a perda de carga distribuída ( $H_f$ ):

$$H_f = f * \frac{L}{Dh} * \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

- $L$  é o comprimento do trecho reto para o qual a perda de carga está sendo calculada;
- $Dh$  é o diâmetro hidráulico;
- $f$  é o coeficiente de atrito ou perda de carga distribuída de Darcy;
- $k$  é a rugosidade da parede interna do conduto; e
- $Re$  é o número de Reynolds, dado por:

$$Re = \frac{\rho * V * Dh}{\mu} = \frac{V * Dh}{\nu}$$

Dessa forma, a área da seção é:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,032^2}{4} = 0,0008 \text{ m}^2$$

O número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * Dh}{\nu} = \frac{0,99 * 0,032}{0,893 \times 10^{-6}} = 35476$$

A rugosidade relativa é:

$$\frac{k}{Dh} = \frac{0,015 * 10^{-3}}{0,032} = 0,0005$$

Para determinar o valor de  $f$ , pode ser utilizado tanto o diagrama de Moody quanto a equação de Colebrook e a equação de Haaland. Nesse caso, foi utilizado a equação de Haaland, onde:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \left[ \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{k/Dh}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

$$f = 0,024$$

Assim, a perda de carga distribuída fica:

$$H_f = 0,024 * \frac{9,59}{0,032} * \frac{0,99^2}{2 * 9,81} = 0,4 \text{ m}$$

Para a determinação da perda de carga localizada (L), será utilizado a tabela apresentada na Figura 22, sendo apresentado os resultados no Tabela 3.

Figura 22. Perda de Carga Localizada, comprimento equivalente em metros de tubulação de PVC rígido ou cobre.

Comprimentos Equivalentes em Conexões										
Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas.										
CONEXÃO	Material	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*)	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
	Áço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de retenção	Horizontal	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9

Fonte: Schneider.ind.br. Acessado em: 01/11/2023.

Tabela 3. Perda de carga localizada na tubulação de recalque.

Conexões de 32 mm	Quantidade	L equivalente (m)	L equivalente total (m)
Tê soldável (saída lateral)	19	4,6	87,4
Registro tipo gaveta 32 mm	18	0,4	7,2
Curva 90° soldável	1	0,7	0,7
Saída de canalização	18	1,4	25,2
Luva de redução 32x25mm	1	0,15	0,15
Filtro UV	1	4,3	4,3
Comprimento da tubulação	-----	-----	9,59
<b>TOTAL</b>			<b>134,54</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para o cálculo da perda de carga localizada a partir do método dos comprimentos equivalentes, por não existir um comprimento equivalente para o reator UV, foi considerado o uso de duas luvas de redução e dois joelhos de 90°, sendo uma aproximação do caminho que a água passa pelo equipamento.

Com os valores de perda de carga distribuída ( $H_f$ ) e perda de carga localizada ( $L$ ) podemos encontrar a perda de carga total da tubulação de recalque ( $H_f$  total):

$$H_f \text{ total} = H_f * L H_f \text{ total} = 0,4 * 134,54 \text{ total} = 53.8 \text{ mca}$$

### 3.5.5 Cálculo da altura manométrica de recalque

A altura manométrica ( $H_{man}$ ) de recalque é obtida pela altura geométrica total ( $H_g$ ) e a perda de carga total da tubulação ( $H_f$  total), a partir da fórmula:

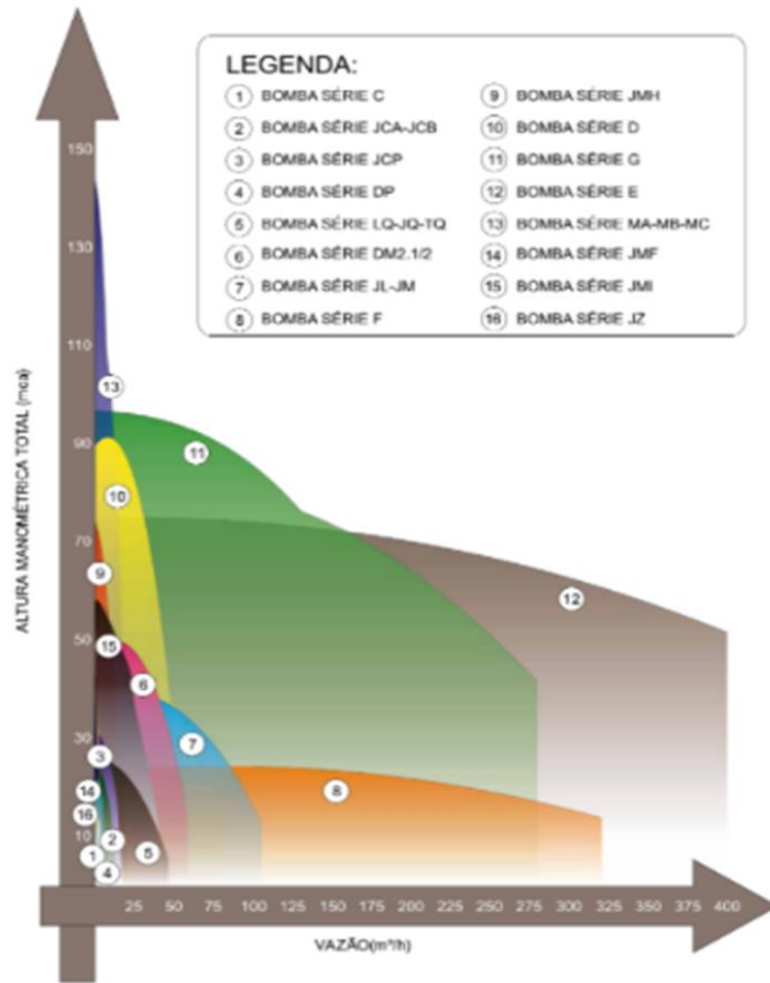
$$H_{man} = H_g + H_f \text{ total} = 1,95 \text{ mca} + 53.8 \text{ mca} = 55.75 \text{ mca}$$

A altura total, seria a soma entre a altura manométrica de sucção e recalque. Dessa forma, como não foi considerado a perda de carga na tubulação de sucção, a altura manométrica total é de 55.75 mca. Com base nesses dados, deve-se observar as curvas de desempenho dos diferentes tipos de bomba, selecionando aquela que se adeque aos parâmetros do projeto.

### 3.5.6 Seleção do conjunto motobomba

Etapa crucial para o planejamento de um projeto de bombeamento, sendo a vazão e a altura manométrica os fatores mais importantes para essa seleção. Nesse caso, vazão de 3 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 51,4 mca. Utilizando esses dados, foi realizado uma pré-seleção a partir do catálogo de Bombas Centrífugas Jacuzzi (2020).

Figura 23. Séries das bombas disponíveis pela Jacuzzi e suas respectivas capacidades.



Fonte: Catálogo de Bombas Centrífugas Jacuzzi (2020).

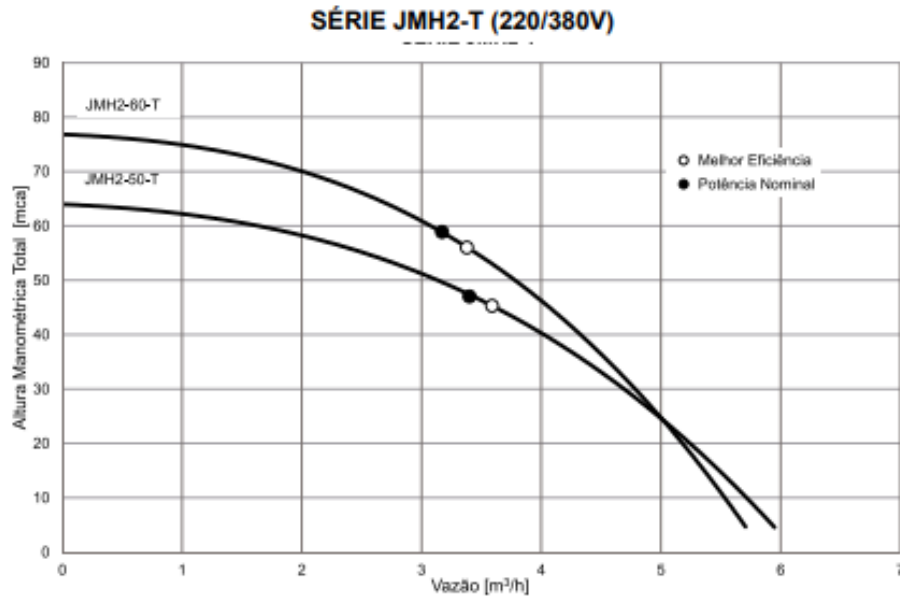
Posteriormente, foi selecionada a bomba série JMH para averiguar o modelo que se enquadra a vazão e altura manométrica do projeto. Com base na tabela de seleção dessa série (Figura 24) foi selecionado o modelo que se adequa e, em seguida, a comprovação da sua escolha a partir da sua curva de desempenho (Figura 25). Com isso, foi selecionado o modelo JMH2-60-T, possuindo seu ponto de melhor eficiência próximo aos índices estabelecidos.

Figura 24. Tabela de seleção motobomba Jacuzzi série JMH.

MODELO		ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (METROS)																	ALTURA MÁXIMA SEM VAZÃO					
MOTOR ELÉTRICO		6	9	11	13	15	17	19	21	24	26	28	30	35	39	43	45	47		51	56	60	65	70
MONOFÁSICO	TRIFÁSICO	VAZÃO (METROS CÚBICOS POR HORA)																						
JMH2-50-M	JMH2-50-T						5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,5	4,4	4,2	3,9	3,7	3,6	3,4	3,0	2,2	1,4			63,8
-	JMH2-60-T		5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,3	5,1	5,0	5,0	4,9	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,5	3,2	2,7	2,0	77,2
JMH4-20-M	JMH4-20-T	12,9	11,8	11,0	10,2	9,4	8,6	7,5	6,3	4,2	2,2													26,9
JMH4-30-M	JMH4-30-T					11,3	10,8	10,3	9,8	9,0	8,3	7,7	6,9	4,7	2,6									41,7
-	JMH4-40-T					11,3	10,9	10,6	10,2	9,6	9,3	8,9	8,4	7,2	6,1	4,7	4,0	3,3	1,5					52,0
-	JMH8-10-T	15,6	14,4	13,6	12,6	11,5	10,5	9,4	8,1	5,9	3,5													27,2
-	JMH8-15-T	18,2	17,4	16,9	16,4	15,9	15,4	14,9	14,3	13,3	12,7	11,9	11,0	8,9	6,8									42,3
-	JMH8-20-T						13,8	13,4	13,0	12,4	11,9	11,4	11,0	9,4	8,1	6,6	5,8	4,8	1,4					51,5
-	JMH8-25-T					16,9	16,6	16,2	15,9	15,4	15,0	14,6	14,1	13,0	12,1	11,2	10,7	10,2	9,1	7,6	6,1	3,2		67,9
-	JMH8-30-T						15,7	15,4	15,2	14,6	14,1	13,7	13,3	12,5	11,8	11,1	10,7	10,3	9,4	8,2	7,2	5,8	4,1	75,6
-	JMH12-10-T			19,4	19,3	19,0	18,5	18,1	17,8	15,0	12,5	9,5												28,7
-	JMH12-20-T											18,7	18,4	17,8	16,6	14,8	13,7	12,5	9,2					54,1

Fonte: Catálogo de Bombas Centrífugas Jacuzzi (2020).

Figura 25. Curva de desempenho da motobomba série JMH2-T.



Fonte: Catálogo de Bombas Centrífugas Jacuzzi (2020).

### 3.5.7 Dimensionamento do canal de drenagem

Considerando que a tubulação de drenagem dos aquários funciona como um duto parcialmente cheio, com base na fórmula de Manning-Strickler, será utilizado a tabela referente a capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min) com altura de lâmina d'água igual a 2/3 do diâmetro. Será determinada uma declividade de 1% e (coeficiente de rugosidade) referente ao plástico igual a 0,011. Dessa forma, para atender a vazão do projeto (3 m³/h), foi determinada a utilização de um tubo com 75 mm, resultando em uma capacidade de 5,7 m³/h, estando acima do necessário.

Figura 26. Capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min.).

	Diâmetro interno (D) (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Fonte: NBR 10844 (1989).



#### 4 QUANTITATIVO E ORÇAMENTO

Todos os equipamentos, materiais e custos envolvidos no projeto estão detalhados na Tabela 4. Considerando a tabela, o custo de investimento para implantação desse sistema de recirculação está estimado em R\$29.287,95.

Segue algumas considerações para determinação desse valor: a bancada dos aquários foi orçada em um funileiro; para a orçamentação do vidro temperado, foi determinado o valor do seu m<sup>2</sup>; as conexões e tubulações foram determinadas a partir de pesquisas em sites de vendas online, sendo todas da marca Tigre; foi realizado o orçamento do *Bead Filter* Altmar; os demais equipamentos foram determinados a partir de pesquisa em sites de vendas online; foi determinado um custo referente a elaboração do projeto, estimado em 5% do valor total de investimento; foi considerado que a execução da obra ocorreria em dois dias por duas pessoas, estimando um valor de diária de R\$200,00 por pessoa; e foi determinado uma taxa de 1% de custos extras.

Tabela 4. Quantitativo e orçamento.

Material	Unidade	Quantidade	Valor un. (R\$)	Valor total (R\$)
<b>Bancada dos Aquários</b>				
Tubo retangular de aço inox 314	m	13,2	106,00	1.399,20
Cantoneira de aço inox 314	m	19,5	119,00	2.318,12
Mão de obra				600,00
			<b>Total</b>	<b>4.317,32</b>
<b>Aquários</b>				
Vidro temperado 5 mm	m <sup>2</sup>	14,4	250,00	3.600,00
Silicone Sil Trade 280g Para Aquários	un.	3,0	53,50	160,50
			<b>Total</b>	<b>3.760,50</b>
<b>Tubulação e conexões de saída</b>				
Abraçadeira SgooHan 75 mm	un.	8,0	9,95	79,60
Tubo linha esgoto 75 mm - barra de 2 m	un.	4,0	108,90	435,60
Cap linha esgoto 75 mm	un.	2,0	7,10	14,20
"T" linha esgoto 75 mm	un.	1,0	10,80	10,80
Joelho linha esgoto 75 mm	un.	2,0	6,49	12,98
Luva linha esgoto 75 mm	un.	1,0	5,79	5,79
Tubo linha água fria 25 mm - barra de 1 m	un.	1,0	7,00	7,00
Tubo linha água fria 25 mm - barra de 6 m	un.	1,0	17,55	17,55
Adaptador Soldável Curto com Bolsa e Rosca 25 x 3/4"	un.	18,0	0,64	11,52
Adaptador soldável (flange) 25 mm	un.	18,00	12,19	219,42
			<b>Total</b>	<b>814,46</b>
<b>Tubulação e conexões de abastecimento</b>				
Registro esfera soldável 32 mm	un.	19,0	17,24	327,56
Tê soldável 32 mm	un.	21,0	3,53	74,13
Curva soldável de 90° 32 mm	un.	1,0	7,96	7,96
Cap soldável 32 mm	un.	2,0	3,20	6,40
Joelho soldável de 45 °	un.	2,0	5,23	10,46

Continuação Tabela 4. Quantitativo e Orçamento					
Material	Unidade	Quantidade	Valor un. (R\$)	Valor total (R\$)	
Luva de redução soldável 32 x 25 mm	un.	1,0	2,59	2,59	
Tubo linha água fria 32 mm - barra de 6 m	un.	2,0	39,90	79,80	
Luva de redução soldável 50 x 25 mm	un.	1,0	7,44	7,44	
Abraçadeira click 32 mm					
Inpol/Maxidut	un.	8,0	1,90	15,20	
			<b>Total</b>	<b>531,54</b>	
Sistema de tratamento de água					
Tubo linha água fria 50 mm - barra de 6 m	un.	1,0	64,90	64,90	
Adaptador soldável (flange) 50 mm	un.	5,0	14,84	74,20	
Registro esfera soldável 50 mm	un.	5,0	50,10	250,50	
Curva soldável de 90° 50 mm	un.	7,0	16,00	112,00	
Caixa Mercoplasa 130 L	un.	3,0	243,14	729,42	
Bio Media K1 Sarlo Pond 10L	un.	4,0	186,99	747,96	
Reator Uv 36w Ocean Tech	un.	1,0	702,00	702,00	
<i>Bead Filter</i> A6 Altamar	un.	1,0	6.930,00	6.930,00	
<i>Skimmer</i> Octo 180 Ocean Tech	un.	1,0	1.944,02	1.944,02	
Conjunto motobomba AC-9000 da Ocean Tech	un.	1,0	759,60	759,60	
Conjunto motobomba centrífuga multiestágio Jacuzzi JMH2-60-T	un.	1,0	3.005,59	3.005,59	
			<b>Total</b>	<b>15.320,19</b>	
Sistema de aeração					
Compresso de ar ACO-380	un.	1,0	1.350,00	1.350,00	
Pedra Porosa Bola Grande Boyu S-05	un.	18,0	20,99	377,82	
Pedras Porosa Disco/bolacha 13cm	un.	4,0	65,90	263,60	
Mangueira De Silicone Para Aquários - 1 Rolo Com 100 metros	un.	1,0	139,99	139,99	
			<b>Total</b>	<b>2.131,41</b>	
Outros custos					
Projeto	%	5,0	26.875,42	1.343,77	
Diária da mão de obra para montagem	un.	4,0	200,00	800,00	
Custos adicionais - margem de segurança	%	1,0	26.875,42	268,75	
			<b>Total</b>	<b>2.412,53</b>	
			<b>Total Geral</b>	<b>29.287,95</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do trabalho, foi proposto um projeto piloto de um sistema de recirculação destinado à manutenção de peixes ornamentais marinhos voltados para exportação. Esse projeto é adaptável e pode ser implementado de maneira escalável por empresas exportadoras,

sendo passível de ajustes de acordo com as particularidades e modo de operação de cada uma. Apesar das diferenças entre os sistemas destinados à manutenção e produção de peixes, e da escassez de informações acadêmicas específicas sobre a produção de peixes ornamentais marinhos no Brasil, foram apresentadas metodologias e considerações pertinentes para o dimensionamento de sistemas de recirculação aquícola voltados para esse contexto.

Como mencionado, a taxa de alimentação e a densidade de estocagem afetam diretamente o dimensionamento de um sistema de recirculação. Contudo, não existem muitos trabalhos que estudam e validam esses parâmetros, sendo necessário sua extrapolação. Com base nisso, devem ser realizados estudos para compreender as necessidades das diferentes espécies trabalhadas, permitindo desenvolver estruturas e manejos que não prejudiquem a saúde dos animais, mantendo-os menos estressados e com uma melhor qualidade.

O projeto apresentado compreende somente os sistemas de filtração, hidráulico e aeração necessários para atender a demanda estipulada, não sendo consideradas outras estruturas complementares essenciais. Sendo assim, se faz necessário um dimensionamento das estruturas complementares de acordo com as características do local onde se pensa em montar uma empresa de exportação e a quantidade de sistemas que se pretende investir.

Entre essas estruturas complementares, podemos citar: reservatório de água salgada; reservatório de água doce; equipamentos de controle de temperatura; sistema de backup; instalação elétrica; sistema de tratamento da água de abastecimento; sistema de drenagem da empresa; reatores de carbonato de cálcio; mecanismos de automação; entre outros.

Em sistemas marinhos, existe a necessidade de ter um reservatório de água doce para reposição de água por evaporação. Caso não seja feita a reposição de água, a concentração da salinidade do sistema aumenta. A água doce repostada deve ser previamente testada ou, caso necessário, tratada por osmose reversa (Watson & Hill, 2006). Em relação à água salgada, frequentemente são utilizados sais marinhos sintéticos no caso de peixes ornamentais, sendo necessário pelo menos 24 horas de mistura (Watson & Hill, 2006). Portanto, deve-se considerar um recipiente grande o suficiente e com boa taxa de mistura para atender qualquer volume de reposição de água prevista. Caso for utilizar água salgada de uma fonte natural, deve-se considerar a realização da filtração antes de abastecer os sistemas.

Devido a intolerância de variação de temperatura para a maioria das espécies ornamentais e, além disso, tendo em vista as variações de temperatura que ocorrem em diferentes locais e épocas do ano, incorporar equipamentos de aquecimento e resfriamento de água ou ar devem ser considerados. O sistema de backup também é uma importante ferramenta para prevenir possíveis imprevistos, sendo aconselhável adquirir geradores de energia e equipamentos extras. Além disso, com a implementação de sistemas de controle e monitoramento automatizados, é possível

Além das estruturas complementares que envolvem um sistema de recirculação aquícola, a partir da Instrução Normativa MPA N° 4, de 04 de fevereiro de 2015, onde é instituído o Programa Nacional de Sanidade de Animais Aquáticos de Cultivo, são apresentando os requisitos mínimos de estrutura e demais competências necessárias para a instauração de empreendimentos voltados para a exportação de animais aquáticos.

## 6 REFERÊNCIAS

SU Zhixing, YUE Yanfeng, JIANG Keji, PENG Shiming, SHI Zhaohong. Research status of marine ornamental fish industry at home and abroad[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(1): 101-112. doi: 10.12131/20200156

BIONDO, Monica V.; BURKI, Rainer P.. A Systematic Review of the Ornamental Fish Trade with Emphasis on Coral Reef Fishes—An Impossible Task. *Animals*, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 2014, 1 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani10112014>.

PINNEGAR, John K.; MURRAY, Joanna M.. Understanding the United Kingdom marine aquarium trade – a mystery shopper study of species on sale. *Journal Of Fish Biology*, [S.L.], v. 94, n. 6, p. 917-924, 3 abr. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.13941>.

GURJÃO, Lívio Moreira de; LOTUFO, Tito Monteiro da Cruz. Native species exploited by marine aquarium trade in Brazil. *Biota Neotropica*, [S.L.], v. 18, n. 3, 19 jul. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0387>.

RHYNE, Andrew L.; TLUSTY, Michael F.; SCHOFIELD, Pamela J.; KAUFMAN, Les; MORRIS, James A.; BRUCKNER, Andrew W.. Revealing the Appetite of the Marine Aquarium Fish Trade: the volume and biodiversity of fish imported into the united states. *Plos One*, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 35808, 21 maio 2012. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.003580>.

GURJÃO, L. M. de; LOTUFO, T. M. da C. The importance of Ceará state to the brazilian marine ornamental fish exports. *Arquivos de Ciências do Mar*. Fortaleza, v. 51, n. 1, p. 75-92, 2018

NOTTINGHAM, Mara Carvalho et al. A exploração de peixes ornamentais marinhos no Estado do Ceará, Brasil: capturas e manutenção nas empresas e exportação. *Boletim Técnico Científico do CEPENE*, Brasil, v. 13, n. 1, p. 53-73, 2005.

WATSON, Craig A.; HILL, Jeffrey E.. Design criteria for recirculating, marine ornamental production systems. *Aquacultural Engineering*, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 157-162, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.002>.

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

BREGNBALLE, Jacob. A Guide to Recirculation Aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. [S. L.]: Fao And Eurofish, 2015. 95 p.

SAMPAIO, Cláudio Luis Santos; NOTTINGHAM, Mara Carvalho. Guia para identificação de peixes ornamentais: espécies marinhas. Brasília: Ibama, 2008. 205 p.

MARKS, Kenneth W.; KLOMP, Kristi D.. Appendix Two. Fish Biomass Conversion Equations. Atoll Research Bulletin, [S.L.], v. 496, n. 35, p. 625-626, 2003. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.00775630.496-35.625>.

ZUANON, Jener Alexandre Sampaio; SALARO, Ana Lúcia; FURUYA, Wilson Massamitu. Produção e nutrição de peixes ornamentais. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, n. 1, p. 165-174, 2011.

POUIL, Simon; TLUSTY, Michael F.; RHYNE, Andrew L.; METIAN, Marc. Aquaculture of marine ornamental fish: overview of the production trends and the role of academia in research progress. Reviews In Aquaculture, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 1217-1230, 27 ago. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12381>.

OLIVEIRA, Maria Isabela Fernandes de. DESENVOLVIMENTO DAS PESQUISAS EM TORNO DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DO PEIXE-PALHAÇO *Amphiprion ocellaris* (Cuvier, 1830), NO ATUAL PANORAMA DO UNIVERSO DOS PEIXES ORNAMENTAIS. 2022. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

WILKERSON, J.D. Clownfishes. a guide to their captive care, breeding & natural history. Microcosm, Shelburne, Ltd. P.O. Box 550, Charlotte, Natural History, 1st ed.VT 05445 - 260 pp. 2003.

TRUSHENSKI, Jesse; ROMBENSO, Artur; SCHWARZ, Michael H.; BOWZER, John; GAUSE, Brian; DELBOS, Brendan; SAMPAIO, Luis A.. Feeding Rate and Frequency Affect Growth of Juvenile Atlantic Spadefish. North American Journal Of Aquaculture, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 107-112, jan. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1080/15222055.2012.655853>.

WANG, Yan; KONG, Ling-Jun; LI, Kai; BUREAU, Dominique P.. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. Aquaculture, [S.L.], v. 271, n. 1-4, p. 350-356, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.022>.

DAVISON, Andy. Recirculating Aquaculture Systems: a guide to farm design e operations. Seattle: Farmfish Llc, 2018. 256 p.

Anikuttan KK, Jayakumar R, Abdul Nazar AK, Tamilmani G, Sakthivel M, Rameshkumar P, Sankar M, Rao GH, Thomas T, Krishnaveni N (2020) Marine ornamental fish seed production. Central Marine Fisheries Research Institute. 68–74 p.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca, NY. 2013.

FURTADO, Plínio Schmidt. O Efeito do Hidróxido de Cálcio, do Carbonato e do Bicarbonato de Sódio na Qualidade de Água e no Desempenho Zootécnico do Camarão *Litopenaeus vannamei* Cultivado com Tecnologia de Bioflocos (BFT). 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2011.

AZEVEDO, V. G. de; NETO, H. G.; ALMEIDA, H. L. de P. e S. de; SANCHES, E. G. Sistemas de Recirculação para Cultivo de Peixes Marinhos: procedimento operacional padrão (POP). **Researchgate**, Brasil, v. 0, n. 0, p. 1-1, ago. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267568293\\_Sistemas\\_de\\_Recirculacao\\_para\\_Cultivo\\_de\\_Peixes\\_Marinhos\\_-Procedimento\\_Operacional\\_Padrao\\_POP/citations](https://www.researchgate.net/publication/267568293_Sistemas_de_Recirculacao_para_Cultivo_de_Peixes_Marinhos_-Procedimento_Operacional_Padrao_POP/citations). Acesso em: 10 out. 2023.

SHEI, Marcelo. Bead filters na aquicultura? *Aquaculture Brasil*, Brasil, v. 13, ago. 2018. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/coluna/280/bead-filters-na-aquicultura>. Acesso em: 10 out. 2023.

PFEIFFER, Timothy J.; WILLS, Paul S.. Evaluation of three types of structured floating plastic media in moving bed biofilters for total ammonia nitrogen removal in a low salinity hatchery recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 51-59, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.06.003>.

LEKANG, Odd-Ivar. **Aquaculture Engineering**. [S.I.]: Wiley-Blackwell, 2007. 352 p.

BOWER, Carol E.; BIDWELL, Joseph P.. Ionization of Ammonia in Seawater: effects of temperature, ph, and salinity. **Journal Of The Fisheries Research Board Of Canada**, [S.L.], v. 35, n. 7, p. 1012-1016, 1 jul. 1978. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f78-165>.

KASAI, H.; YOSHIMIZU, M.; EZURA, Y. Disinfection of water for aquaculture. *Hokkaido: Fisheries Science*, 2002. 4p.

CATÁLOGO TÉCNICO ESGOTO TRIGRE. Disponível em:  
<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-esgoto.pdf>.  
Acesso em: 29/10/2023.

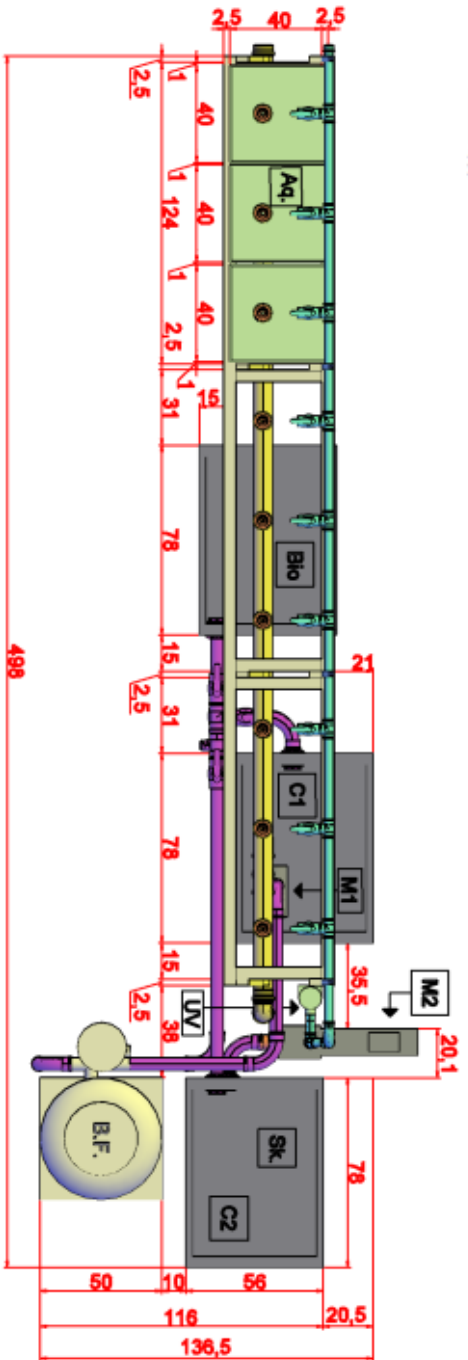
Macintyre, Archibald Joseph. Instalações hidráulicas prediais e industriais. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

Norma NBR 10844: (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989). Instalações prediais de águas pluviais.

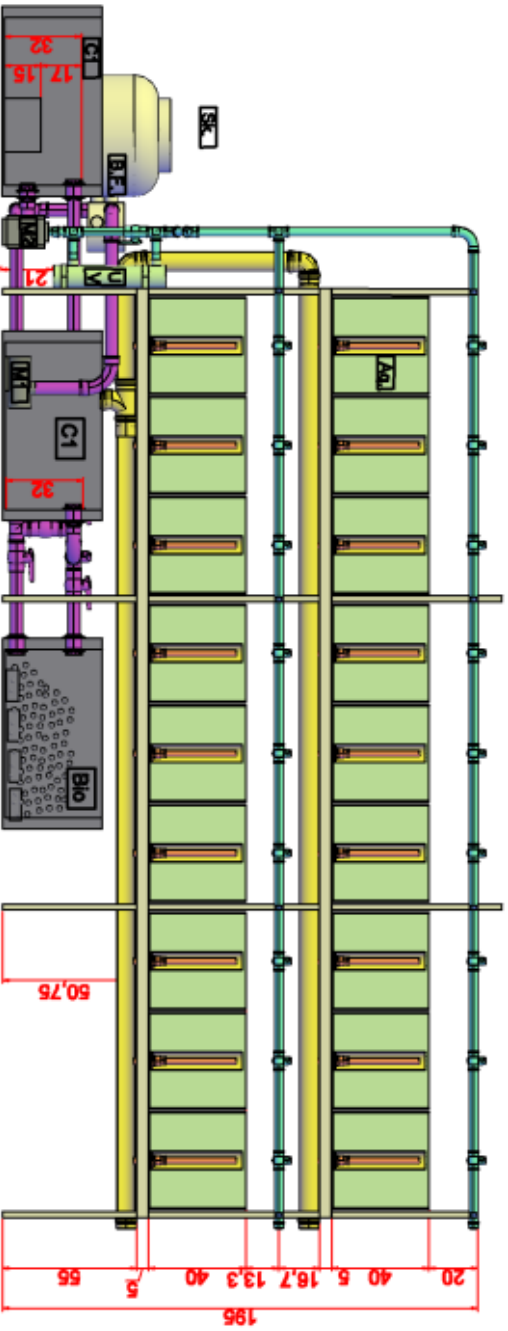
CATÁLOGO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS JACUZZI. Jacuzzi, 2020.

## 7 APÊNDICE

**PLANTA BAIXA**  
Escala: 1/30



**CORTE - VISÃO POSTERIOR**  
Escala: 1/30



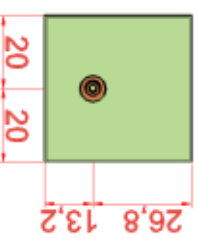
**LISTA DE ESTRUTURAS**

CÓD.	DIMENSÕES (alt. x diâmetro x comp)	Descrição	Qtd.
Sk.	58 x 24 x 22 cm	Skimmer Odo 180 Ocean Tech	1
UV	46 x 9 x 9 cm	Reator UV 36 W Ocean Tech	1
M2	27 x 21 x 47 cm	Conjunto motorbomba JM-H2-60-T-Jacuzzi	1
M1	40 x 40 x 40 cm	Conjunto motorbomba AC-9000 Ocean Tech	1
B.F.	77 x 50 x 50 cm	Bead Filter A6 Altamar	1
Bio	41 x 45 x 78 cm	Biorreator MBBR	1
C1	41 x 45 x 78 cm	Caixa de equalização	2
Aq	40 x 40 x 40 cm	Aquários	18

- Tubulação e conexões de 25 mm
- Tubulação e conexões de 32 mm
- Tubulação e conexões de 50 mm
- Tubulação e conexões de 75 mm

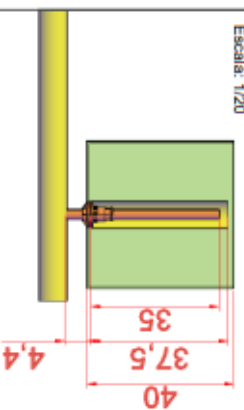
**PLANTA BAIXA AQUÁRIO**

Escala: 1/20



**CORTE AQUÁRIO**

Escala: 1/20



Engenheiro Resp.: João Miguel O. Christakis

Nome do Projeto: RAS Marinho Ornamental

Data: 01/11/2023

Escala: 1/30

Unidade: cm

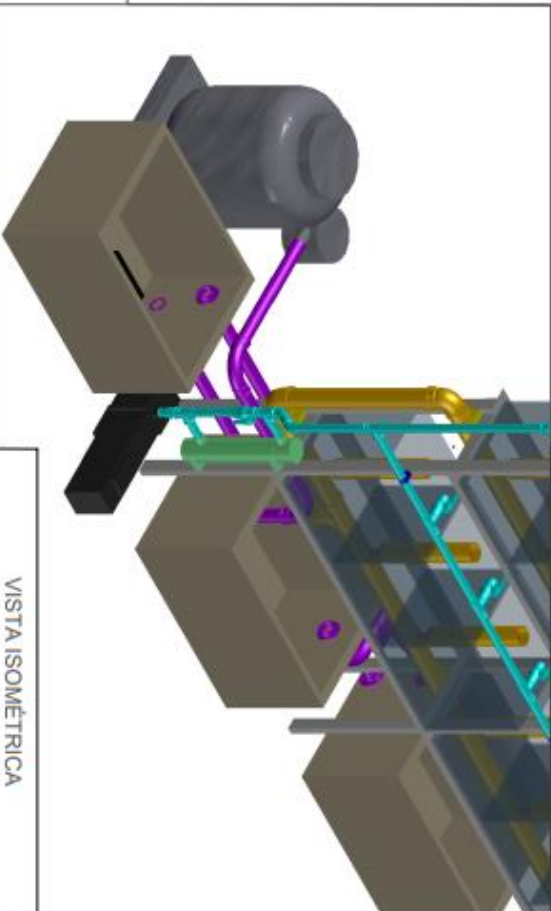
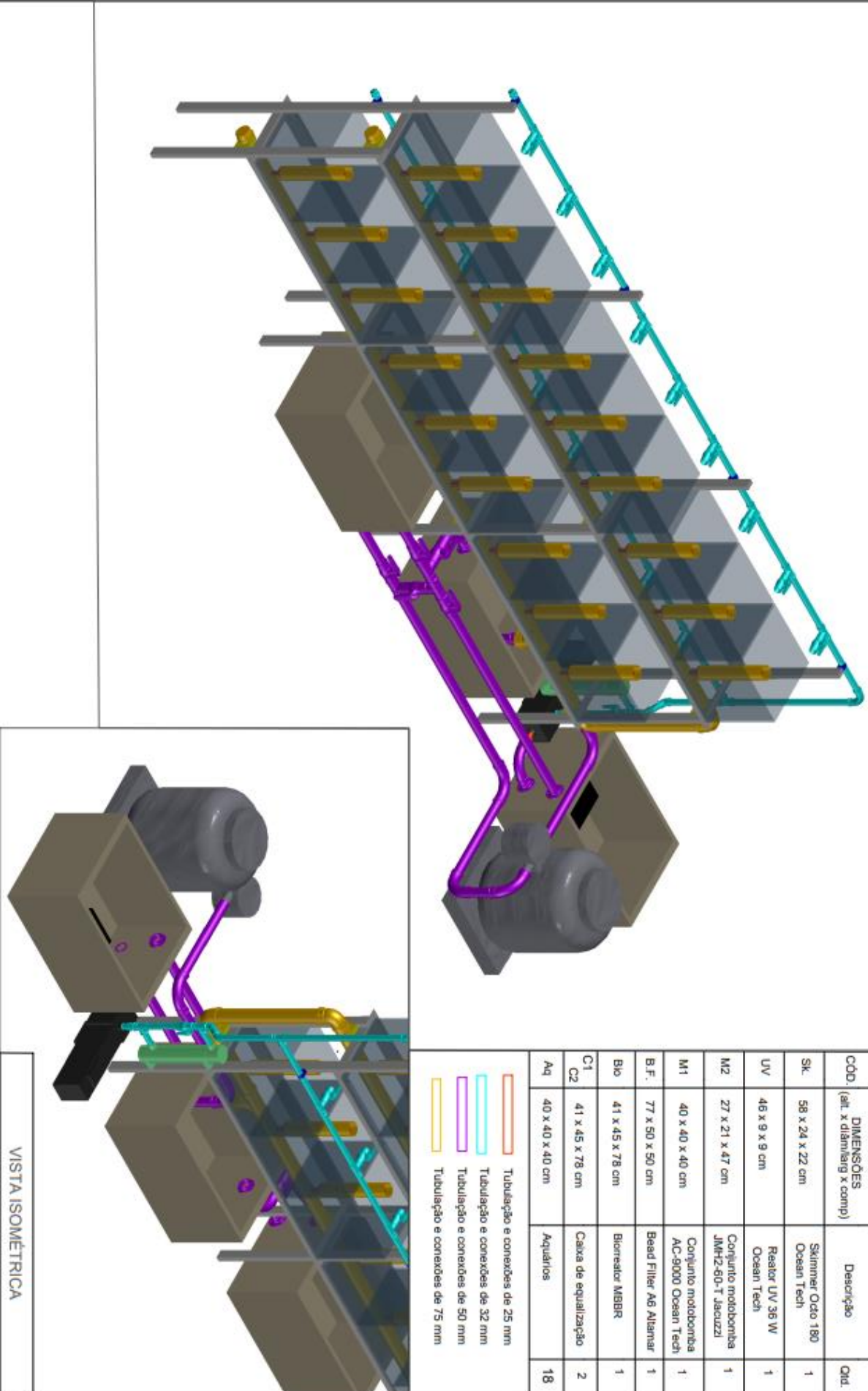




LISTA DE ESTRUTURAS

COD.	DIMENSÕES (alt. x diâmetro x comp)	Descrição	Qtd.
Sk.	58 x 24 x 22 cm	Skimmer Odo 180 Ocean Tech	1
UV	48 x 9 x 9 cm	Reator UV 36 W Ocean Tech	1
M2	27 x 21 x 47 cm	Conjunto motobomba JMH2-60-T Jacuzzi	1
M1	40 x 40 x 40 cm	Conjunto motobomba AC-9000 Ocean Tech	1
B.F.	77 x 50 x 50 cm	Bead Filter A6 Altamar	1
Bio	41 x 45 x 78 cm	Biorreator MSBR	1
C1	41 x 45 x 78 cm	Caixa de equalização	2
C2	41 x 40 x 40 cm	Aquários	18

-  Tubulação e conexões de 25 mm
-  Tubulação e conexões de 32 mm
-  Tubulação e conexões de 50 mm
-  Tubulação e conexões de 75 mm



VISTA ISOMÉTRICA

Engenheiro Resp.: João Miguel O. Christakis

Nome do Projeto: RAS Marinho Ornamental

Data: 01/11/2023

Escala: 1/25

Unidade: cm