

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

SAMUEL SANTOS DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE UM SISTEMA DE AQUICULTURA
DOMÉSTICO**

PATOS DE MINAS - MG
2025

SAMUEL SANTOS DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE UM SISTEMA DE AQUICULTURA
DOMÉSTICO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para conclusão do projeto
final de curso de graduação em Engenharia Eletrônica
e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos

PATOS DE MINAS – MG

2025

SAMUEL SANTOS DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE UM SISTEMA DE AQUICULTURA
DOMÉSTICO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para conclusão do
projeto final de curso de graduação em Engenharia
Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos

Patos de Minas, 01 de Setembro de 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos – FEELT/UFU (Orientador)

Prof. Dr. Elise Saraiva – FEELT/UFU (Membro 1)

Prof. Dra. Eliana Pantaleão – FACOM/UFU (Membro 2)

RESUMO

O Brasil é uma referência global na agricultura, investindo continuamente para aprimorar a produtividade de forma eficaz e sustentável. No entanto, pequenos produtores enfrentam obstáculos significativos, como acesso restrito à tecnologia, infraestrutura insuficiente e competição com grandes empresas. Esse cenário é semelhante na aquicultura, um setor da agricultura voltado para o cultivo de organismos aquáticos. Com os avanços tecnológicos, surge a necessidade de inovações que otimizem e modernizem essa área. Nesse contexto, a aquicultura 4.0, uma subárea da agricultura 4.0, tem se revelado uma solução eficaz para integrar sensores e sistemas que automatizam e controlam a produção de peixes. A hipótese deste trabalho é que é viável desenvolver um sistema econômico que resolva problemas de monitoramento da qualidade da água, gestão dos sistemas de abastecimento e monitoramento de peixes usando ferramentas, dispositivos e sensores tecnológicos de baixo custo. Para a elaboração do protótipo, foram utilizadas estruturas com conectividade Wi-Fi que se comunicam com estruturas *cloud*, responsáveis por armazenar os dados dos sensores em banco de dados. O protótipo é baseado em um sistema de produção de pescado em cativeiro em tanques de circulação, onde foram realizados testes e análises necessárias, para validação do estudo proposto. A partir deste sistema, foram elaboradas duas estruturas, com aplicação de sensores e atuadores: monitoramento da qualidade da água e controle do sistema de abastecimento. Este trabalho representa um passo importante para superar os desafios enfrentados pelos pequenos produtores na aquicultura, contribuindo para uma produção mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Aquicultura; Aquáticos; Automação; Aquicultura 4.0.

ABSTRACT

Brazil is a global reference in agriculture, continuously investing to enhance productivity effectively and sustainably. However, small-scale producers face significant obstacles, such as restricted access to technology, insufficient infrastructure, and competition with large companies. A similar scenario exists in aquaculture, a sector of agriculture focused on cultivating aquatic organisms. With technological advancements, the need for innovations that optimize and modernize this field has arisen. In this context, aquaculture 4.0, a subfield of agriculture 4.0, has proven to be an effective solution for integrating sensors and systems that automate and control fish production. The hypothesis of this work is that it is feasible to develop an economical system that addresses water quality monitoring, supply system management, and fish monitoring using low-cost technological tools, devices, and sensors. For the prototype development, Wi-Fi-enabled structures were used, communicating with cloud-based structures responsible for storing sensor data in databases. The prototype is based on a captive fish production system in circulation tanks, where necessary tests and analyses were conducted to validate the proposed study. From this system, two structures were designed, incorporating sensors and actuators for water quality monitoring and supply system control. This work represents an important step in overcoming challenges faced by small-scale producers in aquaculture, contributing to more efficient and sustainable production.

Keywords: Aquaculture; Aquatic; Automation; Aquaculture 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Gráfico da demanda mundial por alimentos até 2030	12
Figura 1.2 - Modelo de sistema de monitoramento.	17
Figura 1.3 - Modelo de alimentador em um sistema de aquaponia para testes.	18
Figura 1.4 - Interface de simulação de dados.	18
Figura 1.5 - Modelo de um sistema de alimentação solar.	19
Figura 2.1 - Exemplo de um disco de Secchi (A); Demonstração de como o disco de Secchi é utilizado (B).	26
Figura 2.2 - Modelo do sistema de aquaponia proposto.	27
Figura 3.1 - Idealização modelo proposto de aquicultura.	28
Figura 3.2 - Modelo de uma placa Arduino.	30
Figura 3.3 - Placa ESP32 Wi-Fi / Bluetooth DEVKit V1 30 Pinos.	30
Figura 3.4 - Sensor De pH Ph4502c Com Eletrodo Sonda Bnc.	31
Figura 3.5 - Sensor de temperatura modelo DS18B20.	31
Figura 3.6 - Módulo relé 4 canais 5V	32
Figura 3.7 - Sensor de Fluxo d'Água YF-B6	32
Figura 3.8 - Exemplo de teste de pH para a água de aquários	34
Figura 4.1 - Sistema de aquicultura inicial	37
Figura 4.2 - Sistema de aquicultura final (aquário).	38
Figura 4.3 - Montagem dos sensores.	39
Figura 4.4 - Montagem dos sensores.	39
Figura 4.5 - Diagrama dos sensores.....	40
Figura 4.6 - Medidor de vazão.....	40
Figura 4.7 - Instalação dos sensores in loco.	41
Figura 4.8 - Módulo finalizado.	42
Figura 4.9 - Módulo posicionado no sistema de aquicultura.....	42
Figura 4.10 - Site do <i>Firebase Realtime Database</i>	43
Figura 4.11 - Criar projeto Firebase (a).	44
Figura 4.12 - Criar projeto Firebase (b).	44
Figura 4.13 - URL <i>Firebase RealTime Database</i>	45
Figura 4.14 - Tela de autenticação do <i>Firebase RealTime Database</i>	45
Figura 4.15 - Tela de gerenciamento de usuários do <i>Firebase RealTime Database</i>	46
Figura 4.16 - Armazenamento das leituras no Firebase.	51
Figura 4.17 - Sistema de Login Fish Tank	52

Figura 4.18 - Página inicial do Fish Tank	52
Figura 5.1 - Visualização de dados dos módulos.	54
Figura 5.2 - Página Home.	56
Figura 5.3 - Página Média.	56
Figura 5.4 - Página Temperatura.	57

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 2.1 - Tabela de qualidade de água recomendada.	22
Tabela 3.1 - Principais componentes utilizados e respectivos custos.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LoRaWAN	<i>Arquitetura do sistema Lora</i>
ZigBee	<i>Padrão de rede sem fio</i>
Wi-Fi	<i>Padrão de rede sem fio</i>
IEEE	<i>Padrão de rede sem fio</i>
GPS	<i>Sistema de Posicionamento Global</i>
GSM	<i>Sistema Global para Comunicação Móvel</i>
GPRS	<i>Serviços gerais de Pacote por Rádio</i>
ESP32	<i>Módulo de conexão Wi-Fi</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
°C	<i>Graus Celsius</i>
mm	<i>Milímetros</i>
cm	<i>Centímetros</i>
s	<i>Segundos</i>
V	<i>Volts</i>
VCC	<i>Tensão em corrente contínua</i>
GND	<i>Filtro graduado de densidade neutra (terra)</i>
mA	<i>Miliampere</i>
kB	<i>Quilobyte</i>
MB	<i>Megabyte</i>
mW	<i>Miliwatt</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA DO PROJETO	14
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	14
1.3	HIPÓTESES	15
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivos Gerais	16
1.4.2	Objetivos Específicos	16
1.5	JUSTIFICATIVA	16
1.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	AQUICULTURA	21
2.2	QUALIDADE DA ÁGUA	22
2.2.1	Oxigênio Dissolvido	23
2.2.2	Potencial Hidrogeniônico (pH)	23
2.2.3	Alcalinidade.....	24
2.2.4	Nitritos	24
2.2.5	Temperatura	24
2.2.6	Turbidez e Transparência.....	25
2.3	SISTEMA DE AQUAPONIA	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1	MATERIAIS	29
3.1.1	Arduino.....	29
3.1.2	ESP32	30
3.1.3	Sensor De pH Ph4502c Com Eletrodo Sonda Bnc.....	30
3.1.4	Sensor de temperatura DS18B20	31
3.1.5	Módulo relé	32
3.1.6	Sensor de Fluxo d'Água YF-B6	32

3.1.7	Firestore Realtime Database	33
3.1.8	Power Apps – Microsoft.....	33
3.1.9	Power BI - Microsoft	33
3.1.10	Indicador de pH.....	33
3.1.11	Base de dados meteorológicos - INMET.....	34
3.1.12	Custos do projeto	34
3.2	METODOLOGIA.....	35
4	DESENVOLVIMENTO	37
4.1	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE AQUICULTURA	37
4.2	INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS	38
4.3	COMUNICAÇÃO COM BANCO DE DADOS.....	43
4.4	MONITORAMENTO E CONTROLE.....	51
5	RESULTADOS.....	54
6	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a crise global do meio ambiente levaram a sociedade a refletir sobre o papel do homem no mundo, enquanto consumidor. O grande desafio do século XXI, para o desenvolvimento sustentável, está relacionado aos problemas de crescimento populacional, desigualdade social, métodos de produção (industriais e agrícolas) ineficientes, insustentáveis e o uso de matrizes energéticas não sustentáveis (ou de baixo impacto) [1,2].

A temática do desenvolvimento sustentável aborda os problemas relacionados ao meio ambiente e as mudanças climáticas provocadas pelo homem, principalmente através do acúmulo de gases de efeito estufa, que têm origem na queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural. Mas outras atividades também contribuem para o acúmulo de gases, como desmatamento, queimadas, indústria e agricultura [2].

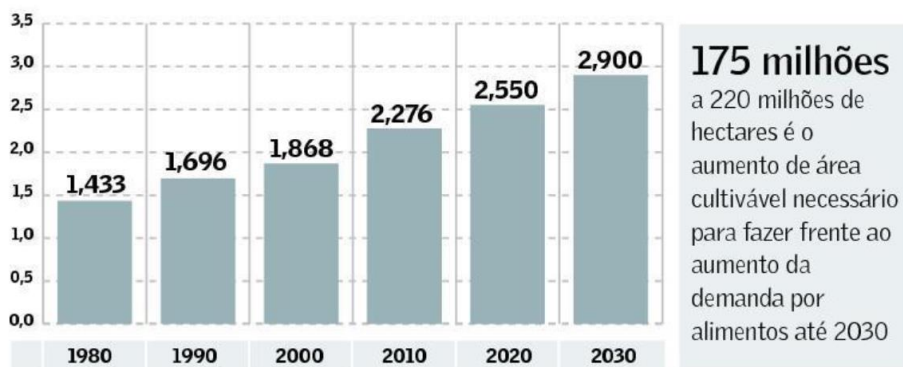
A ONU prevê que o mundo alcance uma população de dez bilhões de pessoas em 2050 esse crescimento provocará um aumento de consumo per capita de produtos (de bens e serviços), expansão de cidades e aumento de consumo de energia [3]. Um grande desafio para o mundo seria suprir essa demanda, dada a incapacidade atual de atender as necessidades futuras do ser humano de modo sustentável e eficiente, olhando principalmente para matrizes energéticas e a agroindústria.

Com o crescimento populacional, será necessário duplicar ou triplicar a produção agrícola (Figura 1.1). Nos últimos anos, a agricultura mostrou crescimentos notórios de toneladas produzidas e aumento da produtividade, mantendo as áreas produtivas atuais [4].

Figura 1.1 - Gráfico da demanda mundial por alimentos até 2030

Em expansão

Demanda mundial por alimentos (bilhões de toneladas)



Fontes: FAO, McKinsey

Fonte: [5]

O aumento de produtividade por parte da oferta de alimentos tem relação com a evolução do setor agrícola, por meio de pesquisas e ferramentas. A agricultura de precisão é uma das práticas modernas da área agrícola para aumento da produção, com a utilização de ferramentas da TIC (Tecnologia da Informação e Computação) para monitorar de modo preciso as atividades produtivas, com base no ambiente [5].

A agricultura envolve um conjunto de fatores no processo produtivo como clima, insumos, mão de obra, adversidades naturais e solo, e a análise de informações aumenta a eficiência e qualidade produzida. E nesse sentido a agricultura 4.0 é essencial e utiliza tecnologia de última geração para aumentar a produção, buscando alcançar eficiência máxima na produção de alimentos, através da redução da utilização de insumos naturais e não naturais. As inovações tecnológicas para agricultura tornam o Brasil o terceiro maior produtor agrícola do mundo [6].

E dentre os objetivos comuns da agricultura de precisão e a agricultura 4.0 [7], está a gestão de dados do campo, a otimização da produção através de ferramentas inovadoras, a implementação de técnicas precisas para aumentar a produtividade e diminuir os custos, a profissionalização das atividades agrícolas, além da sustentabilidade e eficiência na produção. Os benefícios da agricultura 4.0 com a automatização e conectividade do campo [8] abrangem a redução de custos, otimização de recursos, aumento da produtividade, acionamento automatizado de máquinas e equipamentos, o monitoramento e a gestão remota, além de proporcionar um diferencial competitivo no mercado.

Deste modo a aquicultura é uma ciência que desenvolve e estuda a reprodução e cultivo dos organismos predominantemente aquáticos em ambiente controlado, como rios, lagos, tanques ou mar aberto [9], e tem se beneficiado dos avanços tecnológicos proporcionados pela agricultura de precisão e agricultura 4.0. A aquicultura possui grandes subdivisões, como piscicultura (criação de peixes e crustáceos), ranicultura (produção de rãs em cativeiro), quelonicultura (criação de quelônios em cativeiro) e algacultura (cultivo comercial de algas). E dentre os impactos da piscicultura [9] temos a diversificação e aumento da oferta de alimentos, suprimindo a crescente demanda global a um baixo custo produtivo. Assim, é possível perceber que a tecnologia tem um papel fundamental tanto na agricultura quanto na aquicultura, permitindo otimizações e melhorias significativas em ambos os setores.

De acordo com [10], a aquicultura desenvolveu-se através de comunidades ribeirinhas, com atuação familiar e principalmente com o cultivo de algas, peixes e mariscos, para fins de consumo ou para venda na região.

Com a tecnologia existente, e o desenvolvimento de novas técnicas a aquicultura amadureceu e apresentou ganhos na produtividade e na qualidade no cultivo de vários tipos de

organismos aquáticos [11]. As técnicas modernas da aquicultura reduzem o impacto ambiental, promovem o aumento da produtividade, incentivam a sustentabilidade, e ainda incluem sistemas modernos de controle de qualidade, reaproveitamento de água, tratamento de resíduos, uso de dados e utilização de sistemas controle eletrônico [11].

Se tratando de uma atividade de baixo impacto ambiental e baixo custo para os pequenos produtores, o desenvolvimento acelerado da produção de organismos aquáticos é um promotor da redução da pobreza [12] a aquicultura ganhou o nome de Blue Revolution, uma referência a Revolução Verde [12], que transformou a produção de alimentos no século XX. A Revolução Azul é um marco sobre a expansão acelerada da produção da aquicultura, mas também sobre o novo modo de produção, gerenciado de forma sustentável e eficiente.

Em [13], a importância do manejo adequado na aquicultura é discutida, destacando que a criação de ambientes de cultivo sustentáveis e altamente produtivos exige a adoção de estratégias que favorecem o crescimento dos organismos aquáticos. Tais estratégias incluem o monitoramento da qualidade da água (pH, partículas em suspensão e nível de oxigênio dissolvido) e o controle da alimentação. O estudo aponta que o excesso de matéria orgânica nesses sistemas pode ser provocado tanto pela superalimentação quanto pelo uso de rações desbalanceadas, o que compromete a absorção de nutrientes pelos peixes.

Os conceitos das tecnologias 4.0 estão presentes na agricultura [14], e podem ser replicados para a aquicultura, com objetivo de promover a maximização da produção, aumento da qualidade e promoção da sustentabilidade. As TIC na aquicultura podem promover o controle, a rastreabilidade de produtos e a otimização da produção.

1.1 TEMA DO PROJETO

É proposto, a construção de um sistema de aquicultura para a criação de peixes simples, inovador e de baixo custo. O sistema incorpora automação e controle de processos para pequenos produtores e baseia-se em pesquisas e trabalhos existentes na literatura. A proposta inclui um sistema intuitivo e economicamente viável, tornando a automação de etapas da aquicultura acessível para pequenos produtores.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

O Brasil é referência mundial na agricultura, e investe todos os anos para aumentar a produtividade, de modo eficiente e sustentável. Mas nos próximos anos teremos uma nova tendência de crescimento populacional e por consequência uma demanda maior para produção de alimentos. E neste contexto, a aquicultura, em especial na produção de pescado (proteína),

ganha notoriedade devido ao baixo impacto ambiental, baixo custo de produção e o preço atrativo ao consumidor [15].

Porém, o pequeno produtor tem baixo acesso a tecnologia, limitado conhecimento técnico, e dentre os desafios que o pequeno produtor enfrenta na produção de pescado temos:

- Acesso a linhas de créditos: pequenos produtores têm dificuldades em obter investimentos para suas atividades; sistemas modernos de alimentação e monitoramento são caros e exigem um alto capital inicial [16].
- Infraestrutura inadequada: a falta de infraestrutura mínima, como eletricidade e internet, que são fatores essenciais, pode dificultar o manejo do cultivo de peixes [16].
- Concorrência: a presença de grandes empresas dificulta as negociações dos pequenos produtores, que muitas vezes têm que enfrentar preços competitivos [16].

O pequeno produtor de peixe enfrenta vários desafios na produção do pescado que dificultam a produção eficiente e sustentável. E o ambiente de produção de pescado passa por um período de transformações, incorporando tecnologias para ampliar os ganhos financeiros e a produtividade. Essas mudanças buscam, por exemplo, assegurar uma produção sustentável [17].

A tecnologia tem o potencial de melhorar a produtividade e a rentabilidade, mas sua adoção pode ser um desafio considerável, especialmente para os pequenos produtores. A complexidade e o alto custo da implementação de tecnologias avançadas, como sensores de qualidade da água e sistemas eletrônicos de alimentação, pode ser proibitivos para alguns pequenos produtores. Além disso, esses produtores podem não possuir o conhecimento técnico necessário para operar e manter tais tecnologias.

Deste modo, a implementação de tecnologias na produção de peixes pode impulsionar a produtividade, a rentabilidade e as práticas sustentáveis [17]. Assim a implementação de um sistema de controle em etapas específicas do processo produtivo como sensores para controle e monitoramento da qualidade da água, controles eletrônicos sobre os sistemas de abastecimento de água, e um sistema para controle de operações manuais podem contribuir para uma maior gestão da qualidade do pescado.

1.3 HIPÓTESES

A hipótese levantada neste trabalho é a de que é possível desenvolver um sistema de baixo custo que solucione os problemas de gestão de qualidade da água, controle de alimentação e

monitoramento do pescado utilizando ferramentas, dispositivos e sensores tecnológicos de baixo custo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento e implantação de um sistema de controle e monitoramento de um conjunto produtivo de aquicultura familiar capaz de promover o aumento da produtividade e eficiência energética monitorando o sistema produtivo (qualidade da água, controle de alimentação e análise do pescado) com uma boa experiência de usuário com gráficos e notificações para o usuário final por meio de uma aplicação *web*.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para alcançar o objetivo geral deste trabalho são:

- Projetar e Implementar um conjunto de produção de aquicultura de pescado.
- Implementar sensores para monitoramento de indicadores chaves do sistema.
- Desenvolver um *dashboard* para acompanhamento dos indicadores.
- Desenvolver uma aplicação *web* gráfica para gestão do pescado.

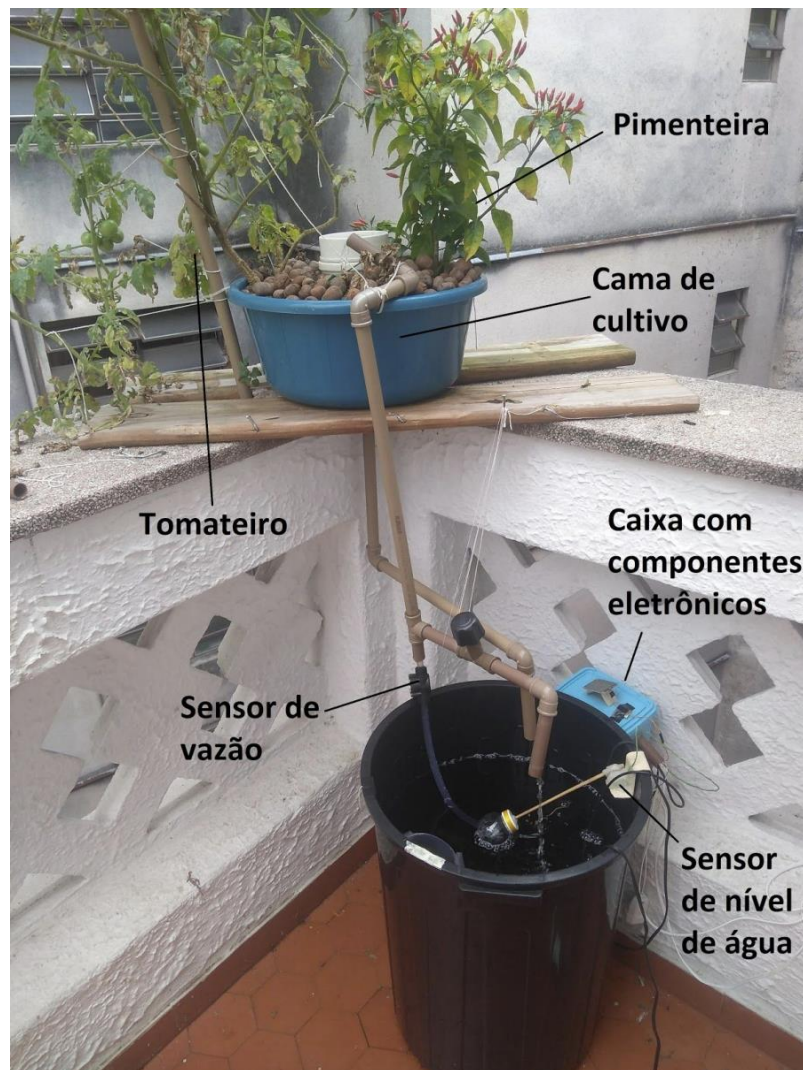
1.5 JUSTIFICATIVA

O aumento populacional e a alta demanda para produção de alimentos trouxeram os desafios da produtividade devido ao aumento de custos, as possíveis restrições futuras quanto ao uso da água e o desenvolvimento sustentável, obrigando os produtores rurais a utilizarem estruturas e ferramentas para tornar a produção de pescado mais eficiente.

Neste sentido, o trabalho proposto por [18] explora os sistemas de aquaponia em relação a agricultura e piscicultura convencional, apresenta um modelo para monitoramento dos indicadores de água (Figura 1.2) utilizando as ferramentas da internet das coisas, possibilitando a detecção e intervenção de possíveis problemas com antecedência, reduzindo os impactos na produção e aumento a eficiência. O trabalho apresenta o uso de diversas ferramentas e abordagens como arduino, diversos sensores integrados, protocolos de comunicação e uso de bancos de dados.

E desse modo o autor apresenta a aquaponia como uma tecnologia extremamente promissora que pode ajudar a resolver problemas relacionados à segurança alimentar em comunidades de baixa renda no Brasil, além de destacar a importância do envolvimento da comunidade e da capacitação técnica para o sucesso da implementação do sistema.

Figura 1.2 - Modelo de sistema de monitoramento.



Fonte: [18]

Outro trabalho, apresentado em [19], mostra o monitoramento da qualidade da água em um aquário, para controle da quantidade de ração e uma interface IHM para monitoramento, apresentando conceitos de integração de sensores, modulação de processos e comunicação *wireless*. O trabalho desenvolve um alimentador automático para peixes em um sistema de aquaponia, buscando otimização do processo de alimentação dos peixes, garantindo uma alimentação adequada e evitando o desperdício da ração.

O sistema de alimentação (Figura 1.3) apresenta uma gama de sensores adicionados a um microcontrolador ESP, apresenta uma interface gráfica para o usuário e pode ser programado para liberar quantidades específicas de ração em intervalos regulares.

Figura 1.3 - Modelo de alimentador em um sistema de aquaponia para testes.



Fonte: [19]

Em [20] é proposto um sistema para alimentação automática de peixes, realizado através do monitoramento dos indicadores da qualidade da água para ter maior eficiência produtiva. O projeto proposto utilizou CLP's, sensores de temperatura e umidade, e roscas sem-fim para automatizar a alimentação dos peixes, garantindo a alimentação adequada dos peixes, evitando o desperdício de ração e reduzindo a necessidade de intervenção manual por parte do produtor. Ademais, o autor utilizou um sistema de simulação de dados para avaliar as diversas possibilidades para o sistema de alimentação automatizado (Figura 1.4).

Onde o autor teve como objetivo controlar a alimentação do pescado de modo automático, através do monitoramento de variáveis externas, porém faltou ao trabalho o desenvolvimento de um controle da qualidade da água dos peixes, uma vez que as variáveis da água são as mais importantes na criação dos peixes, e desse modo desenvolver um ambiente onde as variações da qualidade da água são controladas é essencial para aumento da produção de peixes.

Figura 1.4 - Interface de simulação de dados.

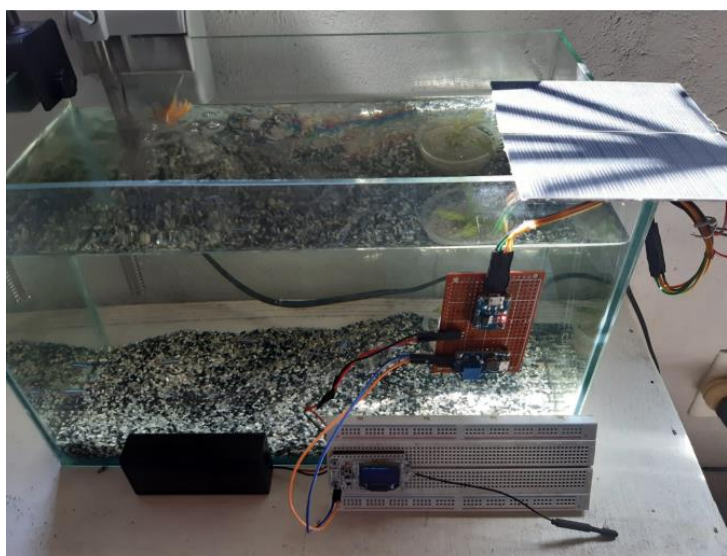


Fonte: [20].

Dantas [21] implementou um sistema de monitoramento da qualidade da água com automação para um viveiro de pescados, com foco no crustáceo camarão que necessita de supervisão constante devido a sua fragilidade.

O trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de telemonitoramento e automação para a criação de camarão, utilizando uma rede de comunicação sem fio LoRa, monitorando a qualidade da água, incluindo sensores de temperatura e pH, de modo a fornecer aos pequenos produtores informações em tempo real sobre a situação dos camarões. Uma das grandes conquistas deste trabalho é o protótipo preciso e versátil, que garante resultados precisos para controle do pescado. Além disso, o sistema proposto será alimentado por um sistema de energia solar como mostra a Figura 1.5.

Figura 1.5 - Modelo de um sistema de alimentação solar.



Fonte: [21].

Deste modo é proposto um sistema para monitoramento da qualidade da água com o desenvolvimento de uma aplicação web com o objetivo de aumentar a produtividade do pequeno produtor.

Será utilizado como base, o trabalho sobre camarões feito por Dantas [21] com algumas especificidades, sendo desenvolvido com ajuda microcontroladores e sensores de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e turbidez, para monitorar a qualidade da água.

O sistema de automação e controle será baseado em um aplicação *web* e terá como referência o trabalho realizado por Soares em [19], incluindo o controle dos sistemas de abastecimento de água e aeração dos tanques, de acordo com os valores medidos pelos sensores de ultra sônicos e oxigênio dissolvidos, porém sem adicionar um sistema de alimentação automática, dado a possibilidade das variações na quantidade de alimento que os peixes podem consumir e conseqüentemente, afetar a qualidade da água e aumentar os custos de produção.

Por isso, a aplicação web apresentará o modo manual ao produtor que não dispõe de recursos para implementação do sistema de modo a utilizar ferramentas analógicas para medir indicadores de qualidade de água e inserir na aplicação, além de encaminhar alertas e notificações de possíveis sobre o sistema.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo é proposto um sistema de monitoramento da qualidade da água para aumentar a produtividade na cultura de criação de peixes. O sistema, que será desenvolvido como uma aplicação *web*, utilizará microcontroladores e sensores para medir a temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez da água e a aeração dos tanques, baseado nos valores medidos. No entanto, o sistema, não incluirá um sistema de alimentação automática, devido às possíveis variações na quantidade de alimento que os peixes podem consumir, o que poderia afetar a qualidade da água e aumentar os custos de produção. E com um foco nos pequenos produtores que não têm recursos para implementar o sistema completo, a aplicação *web* oferecerá um modo de operação manual, permitindo o uso de ferramentas analógicas para medir os indicadores de qualidade da água e imputar no sistema.

No segundo Capítulo deste trabalho que se propõe em um sistema de monitoramento e controle da qualidade da água para a criação de peixes, será apresentada a fundamentação teórica. Esta Seção abordará os requisitos necessários para a criação de peixes e os indicadores de qualidade da água. No terceiro Capítulo, serão detalhados os materiais e as metodologias que serão utilizados para a realização deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A aquicultura representa uma alternativa promissora e sustentável para a produção de proteínas animais, especialmente no Brasil, dada a sua vasta abundância de recursos hídricos. Este referencial teórico aprofundará os conceitos fundamentais da aquicultura, com foco particular na piscicultura — o cultivo de peixes em ambientes controlados.

Inicia-se com a explicação dos fatores cruciais que impactam diretamente a saúde e o desenvolvimento dos organismos aquáticos, como a procedência da água, temperatura, níveis de oxigênio dissolvido, transparência, alcalinidade e a presença de amônia e nitritos. A qualidade da água será abordada como um pilar essencial para o sucesso da piscicultura, detalhando como fatores externos (clima, solo, ração) e internos (densidade de peixes, interações físico-químicas e biológicas) influenciam esse ambiente.

Em sequência, apresentam-se os parâmetros físico-químicos da água, como oxigênio dissolvido (OD), pH, alcalinidade, nitritos e temperatura, explicando suas funções, os níveis ideais e os impactos de suas variações na saúde dos peixes. Abordando também a turbidez e transparência da água, e como essas características afetam o alcance da luz e o comportamento dos peixes.

Por fim, tem-se os sistemas de aquaponia, uma abordagem inovadora que integra a criação de peixes com o cultivo de plantas, e destacando a importância da filtragem e oxigenação da água para a manutenção de um ambiente aquático saudável e produtivo. Este estudo visa fornecer uma compreensão sólida sobre os elementos que garantem a sustentabilidade e a eficiência na produção aquícola.

2.1 AQUICULTURA

A aquicultura é definida na legislação brasileira como uma atividade para o cultivo de organismos em meio total ou parcialmente aquático de espécies como: algas, crustáceos, moluscos, peixes e outros organismos para alimentação ou atividades do ser humano [22].

No Brasil, a atividade da aquicultura relacionada à atividade de pesca é regida através da Lei nº 11.959/09, sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, e tem por definição que “pesca é toda operação, ação ou ato destinado a extrair, colher, pescar, apreender ou capturar recursos pesqueiros” [22].

A atividade da pesca é uma alternativa aos métodos de produção para obtenção de proteínas animais. Além disso, o Brasil tem um grande potencial para a produção de peixes, devido à sua vasta abundância de água doce [23].

Na piscicultura, existem diversos fatores relevantes para garantir o desenvolvimento saudável dos peixes em ambientes controlados. Entre eles estão a procedência da água, a temperatura da água, o nível de oxigênio dissolvido, a transparência da água, a alcalinidade e a presença de amônia [24, 25 e 26]. Além disso, a expansão da produção de peixes pode ser estimulada por diversas inovações tecnológicas, como estrutura de tanques ou redes para criação de peixes, análise de dados, rastreabilidade e automação de tarefas [10].

No guia de biossegurança da Associação Brasileira de Criadores de Peixe, é destacada a importância de avaliar as fontes de água nas unidades de produção de pescado. Existe a necessidade de monitorar a qualidade da água em termos de seus parâmetros físico-químicos, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade total, compostos nitrogenados, dureza e outros [27]. A literatura descreve que os valores desejados para os principais parâmetros físico-químicos da qualidade da água destinadas para produção de pescado devem ser como demonstrados na Tabela 2.1 - Tabela de qualidade de água recomendada [27]:

Tabela 2.1 - Tabela de qualidade de água recomendada.

PARÂMETROS	VALORES DESEJÁVEIS	FREQUÊNCIA
Temperatura	23-33 °C	Diário
Oxigênio Dissolvido (OD)	4.0 - 8.0 mg/L	Diário
pH	6.0 - 9.0	Diário
Alcalinidade Total	>20 - 150 mg /L	Semanal
Nitritos	<0,1 mg/L	Semanal
Amônia Total	<2 mg/L	Semanal

Fonte: [27]

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é fortemente influenciada por fatores externos e internos. Os fatores externos incluem a fonte de origem da água, clima e solo, enquanto os fatores internos são a densidade de peixes, a ração e as interações físico-químicas e biológicas. Por isso, o controle da qualidade da água é essencial. O cultivo de peixes pode influenciar na qualidade da água através da eliminação de dejetos ou pela quantidade de ração fornecida [28].

Devido ao uso intenso dos recursos hídricos, a piscicultura é considerada uma atividade econômica potencialmente poluidora. Dessa forma, há uma importância grande no estudo de métodos de monitorização para que haja o tratamento correto garantindo a qualidade do efluente final. Entre os parâmetros recomendados para monitorização temos: oxigênio dissolvido (OD),

pH, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade, transparência, nitrogênio, fósforo, amônia e turbidez [29, 30].

2.2.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é a quantidade de moléculas de oxigênio livres e não compostas na água. O OD é um fator importante na qualidade da água para a piscicultura, pois os peixes precisam de oxigênio para respirar. O nível de OD ideal para piscicultura é tipicamente acima de 4 mg/L. Na piscicultura, a manutenção de níveis adequados de oxigênio dissolvido é crucial para evitar o estresse e a mortalidade entre a população de peixes. Quando os níveis de OD caem abaixo dos limites ideais, os peixes podem apresentar sinais de angústia, como respiração ofegante na superfície da água, lentidão e redução da alimentação. A deficiência severa de oxigênio pode levar à mortandade de peixes [31].

Há uma série de variáveis que podem influenciar a quantidade de OD da água, entre elas podemos destacar a temperatura da água, a salinidade e a pressão [30]. De acordo com a Lei de Henry sobre solubilidade, o OD diminui conforme a temperatura da água aumenta. Porém, a necessidade por oxigênio dos peixes tende a aumentar em altas temperaturas, embora o OD esteja reduzido. Assim, algumas espécies de peixes sofreram adaptações evolutivas e conseguem viver em ambientes em condições de hipóxia [33].

As principais fontes de OD na água são, em ordem: a fotossíntese, a água de renovação e a atmosfera, excluído o uso de aeradores [34]. Contudo, durante o processo de cultivo, diversos processos o consomem. Os processos que mais demandam OD são: decomposição da matéria orgânica, nitrificação, respiração dos organismos aquáticos e oxidação química abiótica. Quanto mais intensivo for o cultivo maior será o consumo de oxigênio [35].

Os peixes que vivem em ambientes com condições de hipóxia podem apresentar alguns comportamentos característicos como: natação errática, respiração na superfície, aumento da frequência respiratória, agressividade aumentada, falta de apetite e ficar imóvel no fundo do viveiro. Todos esses comportamentos podem ser indícios de estresse e desconforto devido a redução de OD [25].

2.2.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O Potencial Hidrogeniônico (pH) representa a concentração de hidrogênio dissolvido em meio aquoso, com uma escala de medição logarítmica de 0 a 14. Nessa escala, um meio aquoso pode ser classificado como ácido ($\text{pH} < 7$), neutro ($\text{pH} = 7$) e básico ($\text{pH} > 7$). Os valores ideais de pH variam dependendo da espécie de peixe, mas o valor médio indicado para proporcionar um desenvolvimento adequado é entre 6,5 e 8,5 [24].

Na piscicultura, manter o nível de pH apropriado é crucial para o bem-estar dos peixes e outros organismos aquáticos. Pequenas variações de pH podem ser toleradas se mantidas entre 6 e 9. Entretanto, valores extremos acima ou abaixo do limite estabelecido anteriormente podem ser prejudiciais e estão relacionados à mortalidade dos peixes e de outros organismos aquáticos [34]. Além disso, o pH da água também pode afetar o crescimento desses animais e a sua velocidade de reprodução [25].

2.2.3 Alcalinidade

A alcalinidade refere-se à concentração de íon bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) presentes na água, e geralmente é expressa em equivalentes de carbonato de cálcio. A alcalinidade é importante na piscicultura para manter e estabilizar o pH porque ajuda a tamponar o pH da água [36,38]. A baixa alcalinidade pode causar problemas para a adubação e variações do pH ao longo do dia, devido à perda da capacidade tampão da água. A alcalinidade ideal para águas em um sistema de piscicultura deve apresentar uma alcalinidade total maior que 20 mg de CaCO_3/L . Para garantir uma capacidade tampão adequada evitando a redução do pH, os níveis precisam ser em torno de 40 mg de CaCO_3/L [36].

2.2.4 Nitritos

Os nitritos são compostos químicos intermediários durante a transformação de amônia em nitrato [34]. Em altas concentrações, esse composto pode ser prejudicial aos peixes porque transforma os átomos de ferro da hemoglobina, fazendo com que ela fique impossibilitada de transportar oxigênio [36,26]. Os altos níveis de nitrito nos organismos dos peixes podem ocasionar mudanças comportamentais, como: respiração acelerada ou ofegante, comportamento letárgico, mudanças na coloração, redução do apetite, supressão do sistema imunológico e comportamento de esfregar-se.

O nível ideal de nitrito na água do viveiro de peixes é de no máximo 0,50 mg/L. E o aumento do nitrito geralmente é decorrente do manejo inadequado da alimentação dos peixes que se acumula ao fundo dos tanques causando a degradação dos compostos nitrogenados pelos peixes e microrganismos do viveiro [36].

2.2.5 Temperatura

Os peixes são animais ectotérmicos e, portanto, não possuem capacidade de manter a temperatura corporal constante. Por isso, a manutenção da temperatura é de extrema importância para o crescimento e metabolismo desses animais [36,40]. Dessa forma, a velocidade de crescimento e o metabolismo são proporcionais ao aumento de temperatura da água.

O OD também vai sofrer alterações levando em consideração o aumento da temperatura [39]. Além disso, a temperatura alta pode induzir o estresse oxidativo e a apoptose celular porque altera a função de diversas proteínas responsáveis por esse processo [40]. A temperatura também vai afetar a capacidade de reprodução desses animais. Controlando a maturação final dos gametas, a ovulação e a desova [40].

Além disso, o aumento da temperatura tem impacto negativo nos processos migratórios em algumas espécies de peixes. Eles migram à procura de regiões com condições climáticas mais favoráveis à reprodução e desenvolvimento [40].

Por outro lado, temperaturas mais baixas também vão influenciar o desenvolvimento dos peixes, o que pode reduzir o metabolismo e a imunidade, propiciando o aparecimento de doenças nesses animais [39].

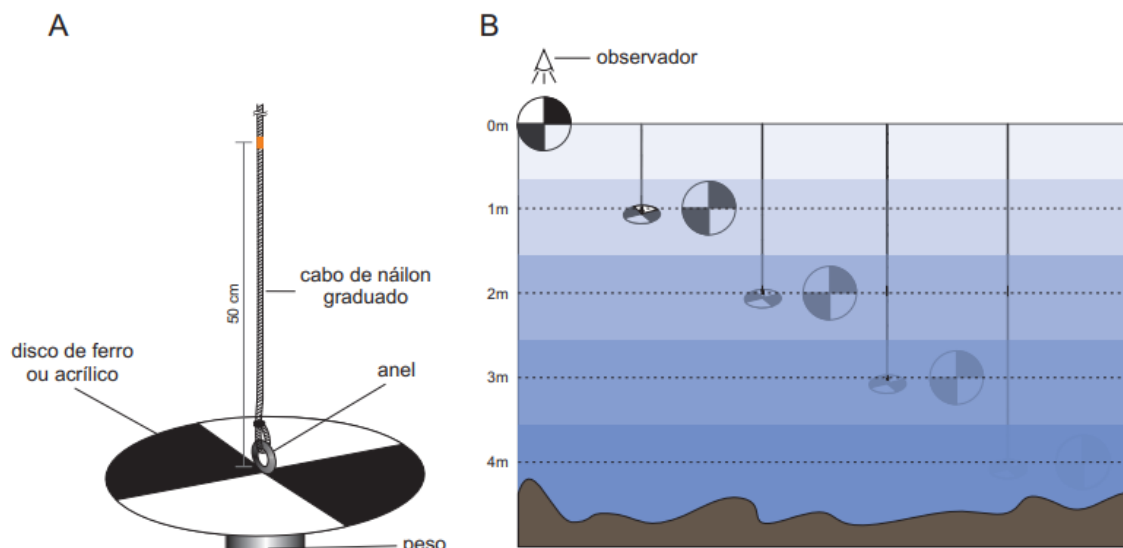
2.2.6 Turbidez e Transparência

A turbidez representa a quantidade de partículas suspensas na água que determinam o grau de resistência da água à passagem da luz. Quanto maior o nível de turbidez, maior a resistência à passagem de luz [36, 39].

A transparência da água se refere à sua clareza visual e é afetada pela quantidade de partículas em suspensão, podendo ser sedimento, algas ou matérias orgânicas. Ela indica a capacidade de penetração da luz através do meio aquático. Os peixes podem expressar alguns comportamentos indicando que a transparência não está adequada. Esse comportamento difere de acordo com a espécie, mas os mais comuns são: comportamento de evitação, comportamento de busca por abrigo, redução da atividade alimentar, natação mais lenta ou menos coordenada e comportamento agressivo [39].

O equipamento conhecido como disco de Secchi (Figura 2.1) é utilizado para medir a transparência da água em centímetros. É um disco composto por quadrados pretos e brancos. E ele é possível medir a profundidade em que não é possível diferenciar as partes brancas e pretas do disco, indicando que essa é a profundidade e que a luz para de penetrar na coluna d'água, como mostra a Figura 2.1 [39].

Figura 2.1 - Exemplo de um disco de Secchi (A); Demonstração de como o disco de Secchi é utilizado (B).



Fonte: [39]

2.3 SISTEMA DE AQUAPONIA

Os sistemas de aquicultura são representados na literatura como sendo compostos por tanques destinados à criação de peixes e filtros para o tratamento da água. E em todos os sistemas de aquaponia, existe uma conexão entre os tanques de criação de peixes e um módulo de filtragem, este módulo, normalmente é composto por um decantador para a remoção de sólidos, um filtro biológico para a reciclagem de nutrientes e um tanque equipado com intensa aeração para a eliminação de gases. Essa forte aeração agita a água do tanque, auxiliando na eliminação desses gases e, simultaneamente, promovendo a oxigenação da água. Este processo de oxigenação é crucial para a manutenção da saúde e do bem-estar dos peixes [41].

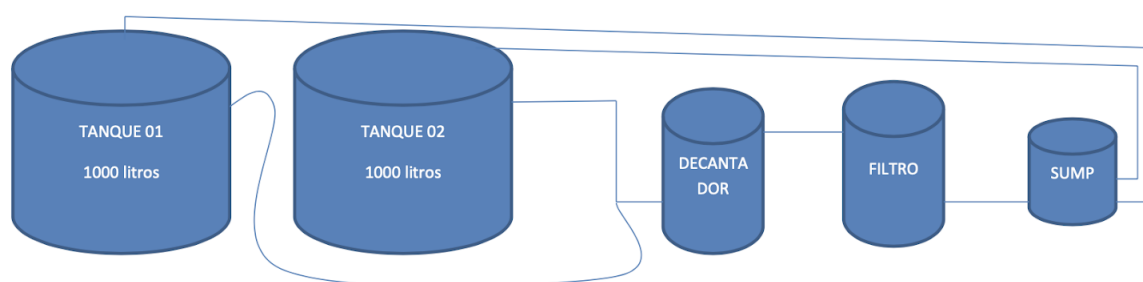
Dentro dos sistemas de filtragem, é possível encontrar um componente denominado como “tanque *Sump*” ou tanque de recalque. Este componente é essencial para a coleta de água proveniente dos sistemas de filtragem. E adicionalmente, uma bomba elétrica é posicionada no interior do tanque “*Sump*”, a função desta bomba é garantir o retorno eficiente da água para os tanques destinados à criação de peixes. Esta configuração assegura a circulação contínua e a reutilização da água [41].

Neste sistema, a água contida nos tanques, denominados Tanque 01 e Tanque 02 (conforme Figura 2.2), é direcionada por gravidade através de um sistema de *overflow*. Este sistema tem como objetivo coletar detritos que se acumulam no fundo do reservatório, incluindo as fezes dos peixes, e encaminhá-los para o decantador [36, 41].

O decantador é responsável pela remoção de partículas sólidas trazidas pelo *overflow*, como restos de ração, fezes e fragmentos de algas. As partículas decantam para o fundo do tanque de decantação, enquanto a água é encaminhada para o filtro. O filtro contém elementos de filtração, como mantas acrílicas, carvão, argila e outros materiais [10, 41].

Após a filtração, a água é direcionada para o "*Sump*". A partir deste ponto, bombas de água retornam à água para os tanques de criação de peixes. Durante este retorno, a água é agitada, resultando na oxigenação dela.

Figura 2.2 - Modelo do sistema de aquaponia proposto.



Fonte: Autor.

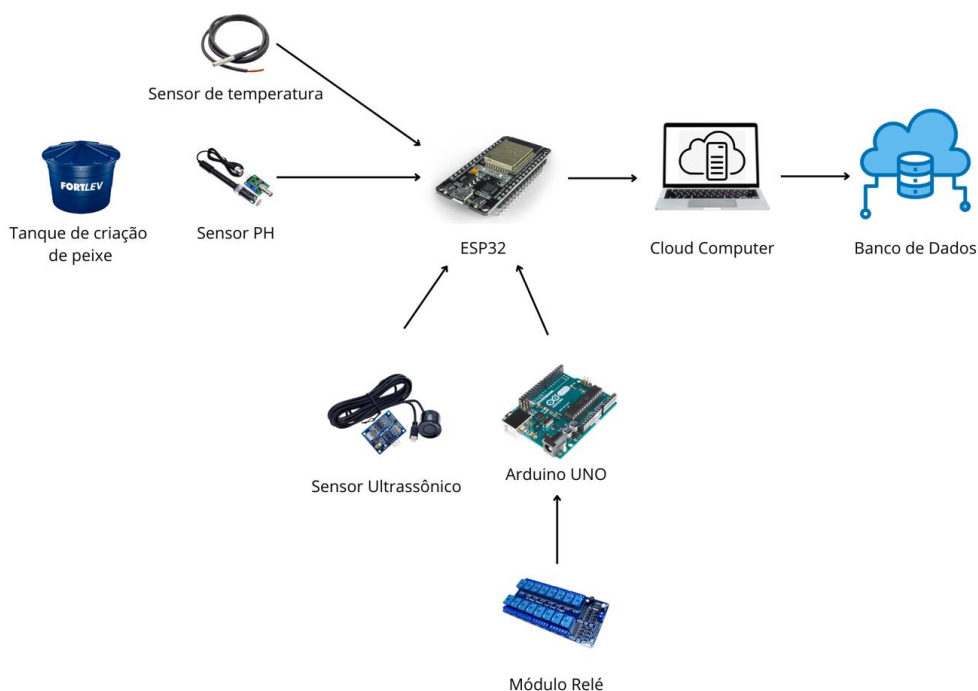
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de monitoramento e controle de um sistema de aquicultura doméstico, será constituído por dois tanques de criação, tanque reservatório (*Sump*), decantador e filtro mecânico. E serão definidas estruturas de tecnologia no sistema de aquicultura: estrutura de monitoramento de qualidade da água e estrutura de controle do sistema de abastecimento.

A Estrutura de controle de abastecimento conta com sensores de ultrassom para verificar o nível de água no sistema e atuadores para realizar a atuação programada de bombas de aeração no tanque *Sump*. A Estrutura de qualidade da água, conta com sensores de pH, temperatura e turbidez para verificar os níveis de qualidade da água do tanque de criação de peixes.

As estruturas tecnológicas serão controladas e interligadas através do microcontrolador ESP32, e sua escolha é devido a sua versatilidade, baixo custo, saídas digitais e analógicas e conexão *Wi-Fi*, a configuração do microcontrolador será realizada usando a IDE do Arduino. O microcontrolador será responsável por receber as informações dos sensores e atuadores e enviá-las via *Wi-Fi* para o sistema em nuvem. Com os dados armazenados será desenvolvido *dashboards* para visualização e controle da operação de criação de peixes. A Figura 3.1 apresenta uma proposta do trabalho.

Figura 3.1 - Idealização modelo proposto de aquicultura.



Fonte: autor.

3.1 MATERIAIS

Nesta seção, será detalhado os componentes e tecnologias empregados no desenvolvimento do sistema, que visam o monitoramento e controle de ambientes aquáticos. A escolha criteriosa de cada material foi pautada na busca por eficiência, precisão e automação, garantindo a funcionalidade e a sustentabilidade do projeto.

Essa seção abre com a apresentação dos microcontroladores Arduino e ESP32, destacando suas características e a justificativa para a seleção do ESP32 como a unidade de controle central, dada sua capacidade de processamento, conectividade sem fio e custo-benefício.

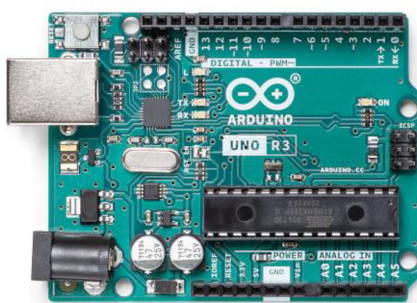
Em seguida, é realizada a abordagem dos sensores utilizados para a aquisição de dados cruciais, como o Sensor de pH PH4502C, essencial para monitorar a acidez ou alcalinidade da água; o Sensor de Temperatura DS18B20, para o controle térmico do ambiente. Complementando os sensores, será detalhado o Módulo Relé, que permitirá o acionamento remoto de dispositivos de alta potência, viabilizando a automação de tarefas.

Por fim, tem-se as ferramentas de *software* que permitirão a interação com o sistema e a análise dos dados: o Power Apps, para a criação de uma interface de usuário intuitiva e a gestão do fluxo de trabalho, e o Power BI, para a visualização e análise inteligente das informações coletadas. Adicionalmente, será feita uma breve menção aos indicadores de pH como método de validação, e uma tabela de custos apresentará a viabilidade econômica do projeto.

3.1.1 Arduino

O arduino (Figura 3.2) é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico de código aberto, com componentes de *hardware* e *software*. Usada para criar ambientes ou objetos interativos. [42] Foi desenvolvido com o intuito de ser usado como um controlador eletrônico de baixo custo e de uso intuitivo. É constituído de microprocessadores programáveis que possibilitam a criação de diversos tipos de dispositivos [43].

Figura 3.2 - Modelo de uma placa Arduino.



Fonte: [44]

3.1.2 ESP32

A placa ESP32 (Figura 3.3) é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa de tecnologia com foco em soluções de Internet das Coisas (IoT). O ESP32 é amplamente utilizado para projetos de eletrônica e IoT devido à sua versatilidade, poder de processamento e conectividade sem fio integrada. A placa é *dual core* e *open source*, ou seja, ela possui 2 núcleos e os dados podem ser vistos e modificados pelos usuários. Além disso, vem incluso na placa um módulo de conectividade *Wi-Fi* e *bluetooth*. Possui um bom custo-benefício, uma vez que combina um hardware superior com um baixo consumo de energia [45].

Figura 3.3 - Placa ESP32 Wi-Fi / Bluetooth DEVKit V1 30 Pinos.



Fonte: [46]

Para cumprir as necessidades e restrições do projeto relacionadas ao controle e monitoramento do sistema, foi utilizado o microcontrolador ESP32, sendo responsável por tratar as leituras dos sensores, comandar os atuadores do sistema de abastecimento, gerenciar os dados das leituras e, por fim, estabelecer uma comunicação sem fio com o banco de dados Firebase.

3.1.3 Sensor De pH Ph4502c Com Eletrodo Sonda Bnc

Para a leitura de pH será usado o Sensor de pH PH4502C com Eletrodo Sonda BNC (Figura 3.4). É um dispositivo utilizado para medir o pH de uma solução líquida. O sensor

consiste em um eletrodo de pH acoplado a uma sonda com um conector BNC, que é um tipo de conector comum em equipamentos eletrônicos.

A faixa de operação e medição do sensor de pH está entre 0 e 14, com tempo de resposta igual a 60 segundos, tensão e corrente de trabalho $5 \pm 0,2$ V e 5mA a 10mA [47].

Figura 3.4 - Sensor De pH Ph4502c Com Eletrodo Sonda Bnc.



Fonte: [48]

3.1.4 Sensor de temperatura DS18B20

Para o monitoramento da temperatura dos tanques dos peixes, será utilizado o sensor à prova d'água DS18B20 com o módulo de leitura (Figura 3.5). O sensor DS18B20 apresenta uma faixa de temperatura entre -55°C e $+125^{\circ}\text{C}$ e uma tensão de alimentação entre 3 V e 5.5 V. Os recursos avançados do sensor como a interface de 1 fio possibilitam a conexão de até 127 sensores minimizando entradas no controlador ou processador.

Além disso, apresenta serial de 64 bits armazenada em uma ROM integrada, sem necessidade de componente externo [47, 49]. É um dispositivo compacto e preciso utilizado para medir a temperatura ambiente com alta resolução.

Figura 3.5 - Sensor de temperatura modelo DS18B20.

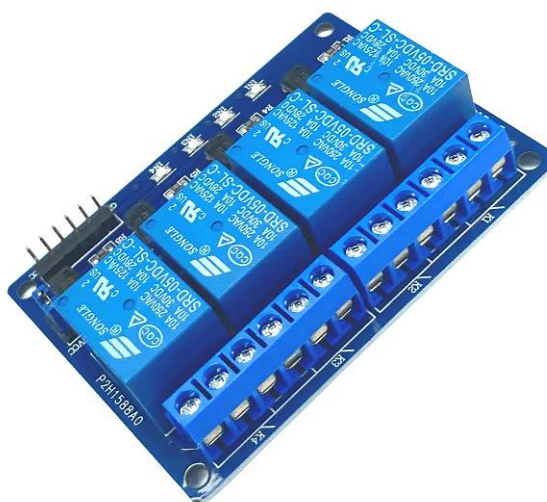


Fonte: [50].

3.1.5 Módulo relé

O módulo relé (Figura 3.6) de 5V com 4 canais é um componente eletrônico que permite acionar dispositivos de alta potência, como lâmpadas, motores e aparelhos elétricos, através de um microcontrolador ou outro sistema eletrônico. Ele oferece a capacidade de ativar e desativar esses dispositivos remotamente, e é especialmente útil em projetos de automação, controle e segurança [55].

Figura 3.6 - Módulo relé 4 canais 5V



Fonte: [56]

3.1.6 Sensor de Fluxo d'Água YF-B6

O sensor de fluxo d'água de latão YF-B6 3/4" (Figura 3.7) é um fluxostato de alta precisão, ideal para aplicações que exigem o monitoramento confiável da vazão de líquidos. Ele opera com um sensor de efeito *Hall*, que detecta a rotação de um rotor interno impulsionado pelo fluxo da água. Essa rotação gera pulsos elétricos que podem ser interpretados por microcontroladores, como o ESP32, para a análise e o controle da vazão [52].

Figura 3.7 - Sensor de Fluxo d'Água YF-B6



Fonte: [52]

3.1.7 Firebase Realtime Database

O Firebase Realtime Database é um banco de dados NoSQL hospedado na nuvem, oferecido pelo Google. Sua principal característica é a sincronização de dados em tempo real, o que significa que qualquer alteração no banco de dados é instantaneamente refletida em todos os clientes conectados. Isso o torna uma excelente escolha para aplicações que exigem atualizações dinâmicas, como as usadas para monitorar sistemas em tempo real. Ele permite que os desenvolvedores armazenem e recuperem dados com facilidade, além de oferecer funcionalidades robustas para autenticação, hospedagem e muito mais, simplificando o desenvolvimento de aplicativos conectados.

3.1.8 Power Apps – Microsoft

O *power apps* é um conjunto de aplicações, serviços e conectores que podem servir como uma base de dados fornecendo um ambiente de desenvolvimento fácil para criação de aplicativos. Os aplicativos criados possuem recursos para transformar o fluxo de trabalho em ambientes digitais e automatizados. Esse conjunto de aplicativos permite ao usuário interagir com dados e metadados, aplicando lógica de negócios e criando conectores personalizados. [57].

3.1.9 Power BI - Microsoft

O Power BI é uma ferramenta de análise utilizada para criação de relatórios interativos a partir de uma base de dados. É utilizado para visualização de dados e construção de relatórios visuais dessas informações. É uma ferramenta avançada de análise que utiliza recursos de estatísticos para encontrar padrões nos dados disponíveis [58].

3.1.10 Indicador de pH

O pH de uma solução quantificado dentro de uma escala numérica que vai de 0 a 14, tendo o 7 como ponto neutro. Valores inferiores a 7 referem-se a uma solução em estado de acidez, e valores superiores a 7 indicam alcalinidade. No ambiente marinho natural, praticamente não ocorre uma variação de pH tendendo a se manter alcalino. Por esta razão, geralmente, os organismos são pouco resistentes a eventuais mudanças de pH na água [25].

Os indicadores de pH (Figura 3.8) servem para analisar o pH da água do aquário para que possam ser realizados os ajustes corretos para manter a água em um pH adequado.

Figura 3.8 - Exemplo de teste de pH para a água de aquários



Fonte: [59]

3.1.11 Base de dados meteorológicos - INMET

Para a análise das condições ambientais e climáticas da cidade de Pirapora, será utilizado dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O INMET é a instituição oficial do governo brasileiro responsável pelo monitoramento e previsão do tempo e do clima [51].

3.1.12 Custos do projeto

Os custos envolvidos no projeto estão indicados na Tabela 3.1. Eles são referentes ao período de aquisição dos equipamentos, que ocorreu em novembro de 2023. Os preços podem variar dependendo da data de compra, devido a fatores como a inflação e as flutuações do mercado.

Tabela 3.1 - Principais componentes utilizados e respectivos custos.

Descrição	Quantidade	Custo Total
Nodemcu V3 ESP8266	2	80,00
Sensor De pH Ph4502c Com Eletrodo Sonda Bnc	1	170,00
Sensor de temperatura DS18B20	1	20,00
Módulo relé 4 canais 5V	1	50,00
Arduino Uno R3	1	30,00
Fonte 5V	3	40,00
Total		390,00

Fonte: Autor

3.2 METODOLOGIA

Este trabalho propôs a implementação de um sistema integrado para monitoramento da qualidade da água e controle do abastecimento. A metodologia adotada envolveu inicialmente uma fase de ideação, na qual foram identificados os requisitos mínimos para a construção do protótipo. Esses requisitos abrangeram tanto as características físicas quanto funcionais do sistema.

Posteriormente, foi estabelecido o tipo de cultura (pescado) que seria alvo dos testes iniciais, e decidiu-se pela cultura de Tilápias devido ao extenso material público que existe na literatura e por ser um peixe que se adapta bem ao clima brasileiro. Essa decisão tem como objetivo orientar o processo de desenvolvimento do protótipo, garantindo que o sistema seja adequado às necessidades específicas dessa cultura.

1) Planejamento

O protótipo proposto para desenvolvimento neste trabalho é voltado para a aquicultura, especificamente para a produção de pescado em cativeiro em tanques de circulação. A escolha deste arranjo para criação de pescado foi orientada com o objetivo de desenvolver uma solução que atenda às necessidades dos pequenos produtores.

Para a implementação do sistema, foi desenvolvida uma infraestrutura local que utiliza roteadores *Wi-Fi*, sensores de temperatura, sensores ultrassônicos, sensor de pH e sensor de turbidez, relés, sensor de fluxo e um sistema de gerenciamento de banco de dados.

O sistema proposto foi dividido em duas estruturas principais: a estrutura de monitoramento da qualidade da água e a estrutura de controle de abastecimento. A estrutura de monitoramento da qualidade da água utiliza sensores para coletar dados que são transmitidos através da rede *Wi-Fi*. Esses dados podem ser visualizados através de um painel de controle na aplicação Power BI.

Por outro lado, a estrutura de controle de abastecimento é responsável por garantir o funcionamento adequado dos sistemas de aeração e abastecimento de água. Assim como a estrutura de monitoramento da qualidade da água, as informações coletadas por esta estrutura também são transmitidas e podem ser acompanhadas através da aplicação Power BI.

2) Construção do tanque

Na seção de construção do tanque, foi planejada a implementação de um tanque de circulação juntamente com toda a estrutura do sistema de aquicultura destinado à produção de pescado. Além disso, foi proposto a integração das estruturas de controle de qualidade de água e a estrutura do sistema de abastecimento ao conjunto de aquicultura.

A construção deste tanque foi o componente crucial para o desenvolvimento deste trabalho.

3) Configuração dos sensores

Na etapa de configuração dos sensores, foram conduzidos testes rigorosos dos sensores e atuadores presentes tanto na estrutura de controle de qualidade da água quanto na estrutura de controle do sistema de abastecimento.

Após a realização desses testes e verificações, os sensores se mostraram aptos a monitorar os indicadores de qualidade da água na estrutura designada para tal. Além disso, eles também permitiram ser capazes de gerenciar a estrutura de abastecimento em conjunto com os atuadores. Esta etapa, somada com a anterior, se apresentou crucial para garantir a eficácia e a precisão do sistema proposto.

4) Comunicação dos sensores e estrutura de dados

A arquitetura do sistema foi proposta em torno do ESP32, um componente eletrônico que facilita a conectividade do sistema. Este dispositivo, durante o período de análise, estava integrado à rede *Wi-Fi* estabelecendo uma conexão direta com uma estrutura de banco de dados.

Esta estrutura foi alocada em uma aplicação *SharePoint* da *Microsoft*, proporcionando uma plataforma robusta e confiável para o gerenciamento de dados. O modelo de banco de dados adotado para este sistema foi o *SharePoint List*. Adicionalmente, o *Firebase Realtime Database* foi empregado para o armazenamento e sincronização instantânea dos dados coletados.

5) Tratamento e visualização de dados

Os dados dos sensores foram coletados, armazenados e submetidos a um processo de tratamento para garantir a precisão e relevância das informações. Para validar os dados de temperatura, umidade e pluviosidade obtidos pelo protótipo, foi utilizada a base de dados climáticos do INMET para comparação. Após o tratamento, os dados são apresentados de forma clara e concisa em um *dashboard* na aplicação *Power BI*, permitindo uma fácil interpretação e análise. Esta estrutura de organização colabora para a tomada de decisões com base em insights derivados dos dados coletados. Em paralelo, o *Power Apps* será utilizado para facilitar a distribuição e o acesso a esses dados, oferecendo uma plataforma interativa para os usuários.

4 DESENVOLVIMENTO

O processo de desenvolvimento do sistema foi executado em etapas, abrangendo tanto aspectos físicos do projeto, como a construção do sistema de aquicultura, a implementação dos módulos de controle e monitoramento, e a arquitetura de comunicação com o banco de dados. Este capítulo detalha os procedimentos de codificação empregados para o controle dos módulos do sistema, são apresentadas as especificações referentes ao desenvolvimento da interface web e a metodologia utilizada para o desenvolvimento de dashboards no *Power BI* e *Power Apps*.

4.1 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE AQUICULTURA

Durante o processo de desenvolvimento do projeto, foi necessário construir um sistema de aquicultura composto por dois tanques de mil litros, um decantador, um filtro biológico, um filtro de decalque e bombas de aeração, como apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Sistema de aquicultura inicial



Fonte: Autor.

Durante a etapa de desenvolvimento dos módulos de monitoramento e controle, percebeu-se que, devido à escala elevada do sistema de aquicultura, a quantidade de equipamentos necessários geraria custos elevados, comprometendo a proposta inicial de validar um sistema de controle eficiente para pequenos produtores.

Diante disso, decidiu-se prosseguir com a utilização dos sistemas de controle e monitoramento em um sistema com apenas um tanque, permitindo a validação do projeto com custos reduzidos e menor complexidade inicial. Os módulos foram instalados em um sistema de aquário em um ambiente mais controlado e menos exposto às intempéries.

A utilização do aquário mostrou-se vantajosa por reduzir a complexidade e os custos operacionais de instalação, além de permitir a validação do projeto. O aquário utilizado para o desenvolvimento deste trabalho pode ser consultado na Figura 4.2, possuindo como dimensões: 0,8 metros de altura, 1,5 metros de comprimento e 1,5 metros de largura. Considerando a espessura das paredes externas como sendo 0,15 metros, encontra-se uma capacidade máxima de 1300 litros.

Figura 4.2 - Sistema de aquicultura final (aquário).



Fonte: Autor.

4.2 INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS

Antes de prosseguir com a instalação dos módulos, foi necessário realizar a montagem dos módulos de sensores em uma placa de prototipagem, e garantir que todos os sensores estavam operantes.

A montagem foi realizada utilizando uma placa de fenolite perfurada, que facilitou a instalação e montagem do conjunto dos módulos e do controlador, conforme apresentado na Figura 4.3.

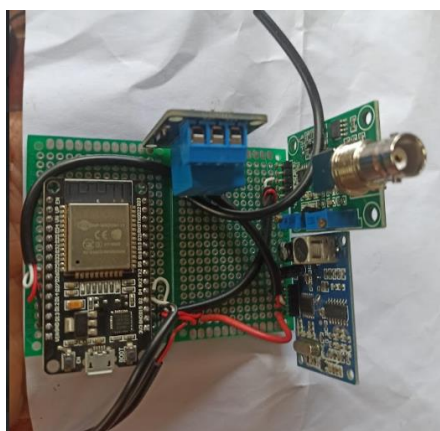
Figura 4.3 - Montagem dos sensores.



Fonte: Autor.

Primeiro, realizou-se a instalação do *ESP32*, seguida pela instalação dos módulos do sensor de pH, sensor ultrassônico e módulo relé. Com os equipamentos posicionados, procedeu-se à soldagem dos componentes na placa, seguindo suas características construtivas validadas na pré-montagem. Após a conclusão das soldas e conexões, os módulos ficaram devidamente conectados ao dispositivo *ESP32*, conforme apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Montagem dos sensores.

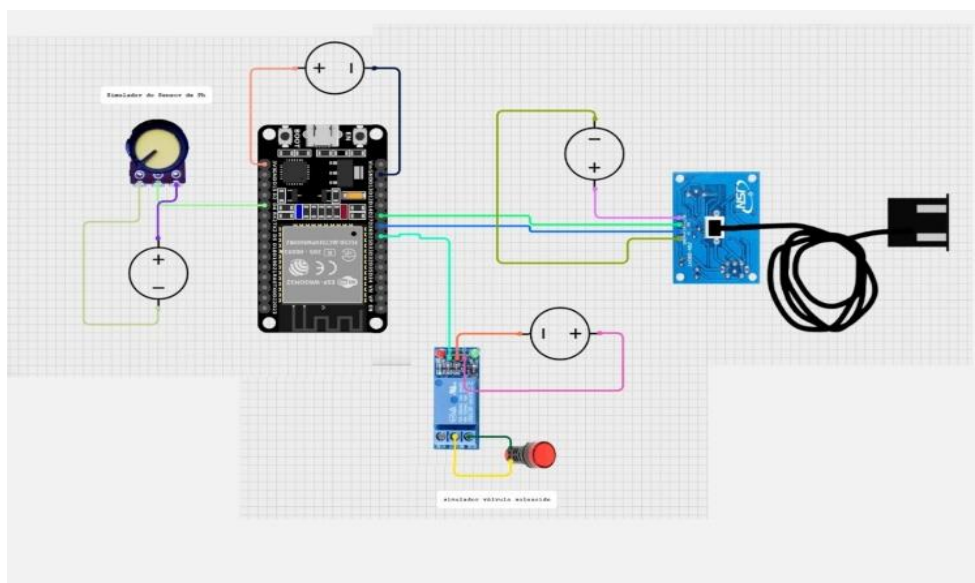


Fonte: Autor.

Após a conexão de todos os equipamentos, realizou-se a etapa de testes em ambiente controlado para validar o funcionamento dos sensores antes da instalação no sistema de aquicultura.

O diagrama da Figura 4.5 representa a disposição dos sensores de pH, sensor ultrassônico e módulo relé, conectado ao controlador *ESP32*.

Figura 4.5 - Diagrama dos sensores.



Fonte: Autor.

Para efeito de simulação e representação do sistema, optou-se por representar a válvula solenoide por meio de uma lâmpada conectada ao módulo relé, e para emular o sensor de pH, utilizou-se um potenciômetro, uma vez que o princípio de funcionamento do sensor de pH baseia-se na medição da tensão elétrica e na conversão desses sinais para determinar o grau de alcalinidade da água.

Além disso, com a transição do sistema de aquicultura para o aquário, foi adicionado um medidor de vazão na entrada do sistema de abastecimento, conforme apresentado na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Medidor de vazão.



Fonte: Autor.

Essa solução garante o monitoramento do sistema de abastecimento de água, necessário para a manutenção da vida dos peixes. E com a conclusão do ajuste no sistema de

abastecimento, conforme Figura 4.7, foi possível avançar para uma etapa crucial nos testes do módulo de controle e monitoramento.

Figura 4.7 - Instalação dos sensores in loco.



Fonte: Autor.

Após a instalação dos sensores de pH e ultrassônico no tanque conforme Figura 4.7, procedeu-se à calibração de ambos. Com todos os sensores devidamente conectados, deu-se início à etapa de desenvolvimento do controle de acionamento do sistema de abastecimento de água.

Para o sistema de aquicultura, é necessária a conexão com a válvula solenoide, que é responsável por permitir a passagem de água de um reservatório e adicioná-la ao tanque quando o nível estiver abaixo do recomendado. Para essa finalidade, optou-se pelo uso de um módulo relé para acionamento.

O acionamento da válvula solenoide do sistema de abastecimento é realizado por meio do módulo relé. A porta D25 do microcontrolador foi configurada para ativar o módulo relé e, conseqüentemente, a válvula solenoide. Adicionalmente para assegurar o correto funcionamento do sistema, o acionamento do relé é monitorado, confirmando a abertura e o fechamento da válvula durante o processo de abastecimento do tanque.

O módulo relé é ativado somente quando o sensor ultrassônico, conectado às portas D26 e D27 do ESP32, identifica que a distância entre o sensor e nível de água é superior a 10cm. Quando isso ocorre, a válvula de abastecimento é acionada e permanece aberta até que a distância medida pelo sensor atinja um valor igual ou inferior a 10 cm.

Após a instalação da válvula solenoide d'água e dos sensores, realizou-se uma minuciosa verificação de todas as conexões na placa de fenolite. Em seguida, o módulo foi montado em uma plataforma, visando proteger os componentes internos da exposição às intempéries. Para alimentar o circuito, adotou-se um cabo USB, que pode ser conectado a um carregador comum de *smartphone*.

Figura 4.8 - Módulo finalizado.



Fonte: Autor.

Após a montagem do módulo de controle e monitoramento, conforme ilustrado na Figura 4.8, foi necessário conectá-lo ao sistema de aquicultura já finalizado, mostrado na Figura 4.9. O módulo foi posicionado em um local estratégico e de fácil visualização. Para garantir medições precisas, o sensor de pH foi inserido dentro do tanque, enquanto o sensor ultrassônico foi instalado a 10 cm acima do nível da água para monitorar suas variações.

Por conta da fragilidade do equipamento e da ausência de pontos adequados para instalação, o sensor de turbidez apresentou falhas e acabou sendo danificado durante a fase de testes, inviabilizando sua aplicação no projeto. Devido a este contratempo, não foi possível implementar a medição da turbidez da água no aquário.

Figura 4.9 - Módulo posicionado no sistema de aquicultura.



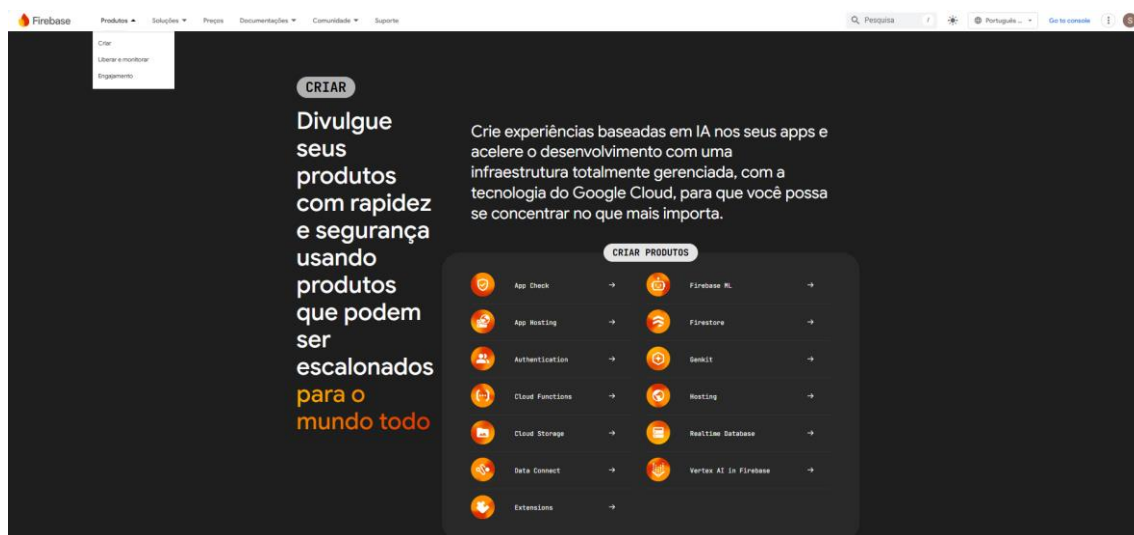
Fonte: Autor.

4.3 COMUNICAÇÃO COM BANCO DE DADOS

O primeiro passo realizado para o armazenamento dos dados coletados pelo módulo consiste na criação e formatação do banco de dados. Para essa finalidade, foi idealizado inicialmente a utilização do sistema *XAMP*, uma plataforma de código aberto e amplamente utilizada, porém erros sistêmicos ocorreram. Devido a estes incidentes, foi optado por utilizar a plataforma *Firebase*.

Utilizando o *Firebase Realtime Database* uma solução com um banco de dados hospedado na nuvem da empresa Google, onde os dados são sincronizados em tempo real, conforme apresentado na Figura 4.10.

Figura 4.10 - Site do *Firebase Realtime Database*

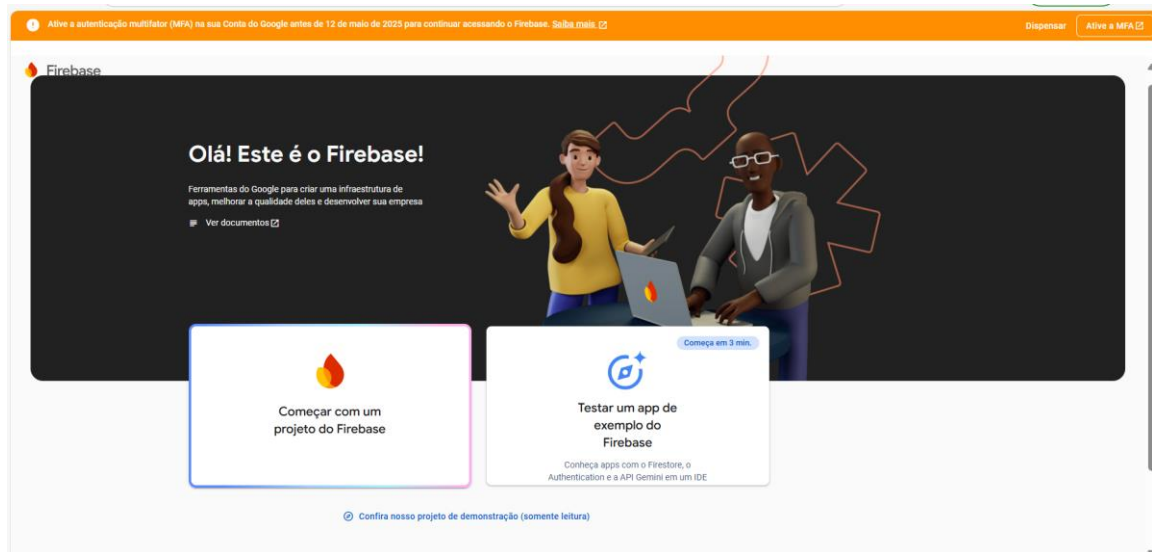


Fonte: Autor.

Diferentemente da estrutura tradicional de bancos de dados, como o *XAMP*, que requer a configuração de arquivos de conexão e o gerenciamento de credenciais de acesso, o *Firebase Realtime Database* oferece uma abordagem simplificada, a conexão com o banco de dados na nuvem se estabelece por meio da chave de acesso do projeto, obtida no console do *Firebase*. Essa chave permite a comunicação segura e eficiente entre o módulo de coleta de dados e o banco de dados, sem a necessidade de configurações adicionais.

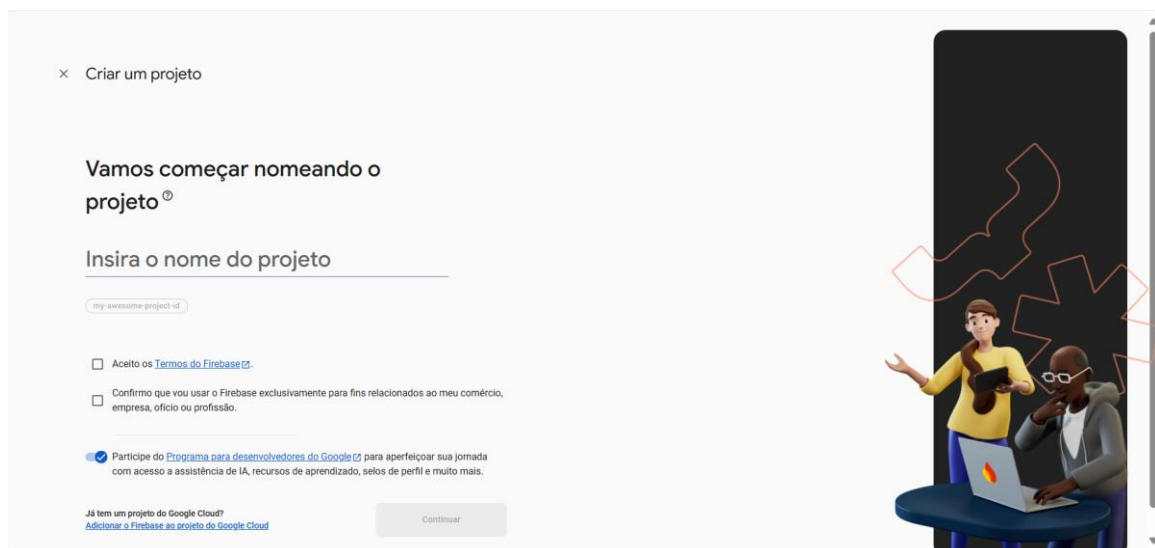
Para iniciar um projeto no *Firebase*, é preciso possuir uma conta Google, acessar o console da plataforma e seguir as instruções para a criação de um novo projeto, conforme detalhado nas Figuras 4.11 e 4.12.

Figura 4.11 - Criar projeto Firebase (a).



Fonte: Autor.

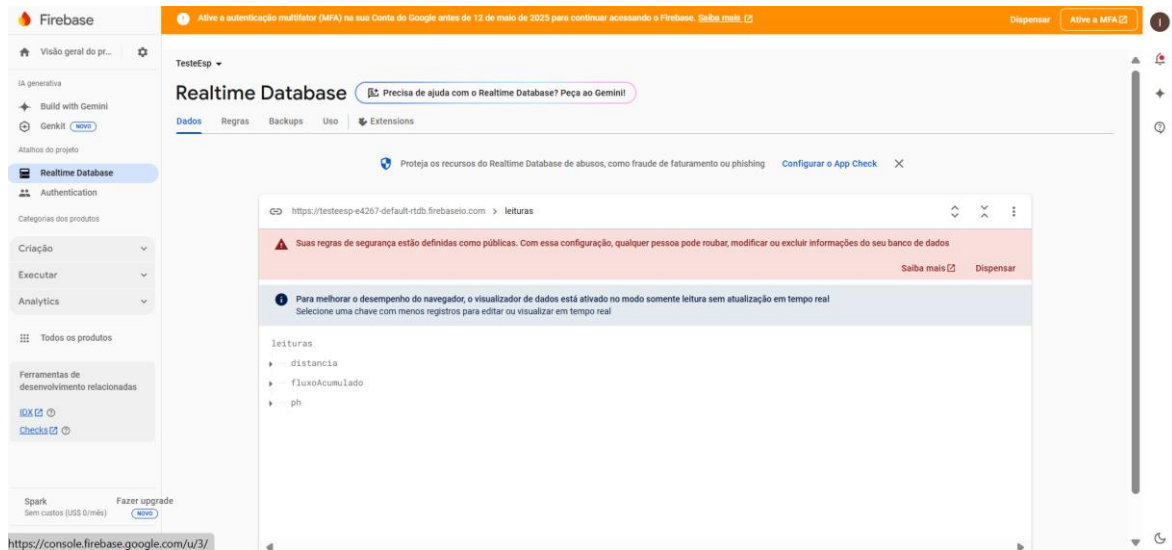
Figura 4.12 - Criar projeto Firebase (b).



Fonte: Autor.

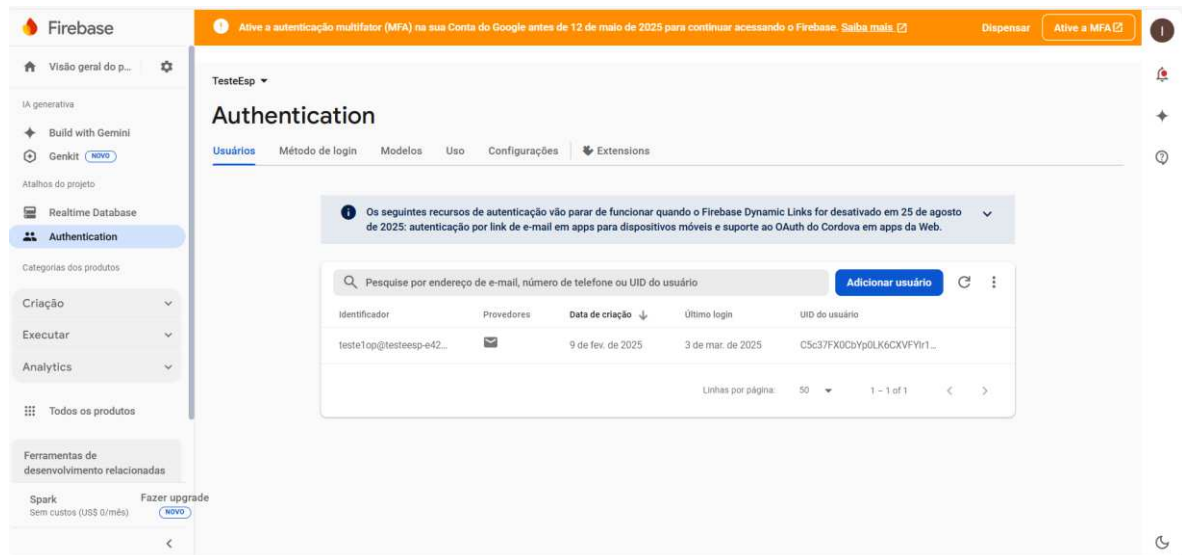
Após estas etapas, o banco de dados no Firebase está estabelecido, e a próxima etapa consiste no levantamento das credenciais necessárias para acessar o banco de dados Firebase.

A primeira credencial requerida é a *URL* do banco de dados, que é acessível através da seção *Realtime Database* no *console* do *Firebase*, com a *URL* exibida no cabeçalho da tabela, conforme apresentado na figura 4.13.

Figura 4.13 - URL *Firebase RealTime Database*

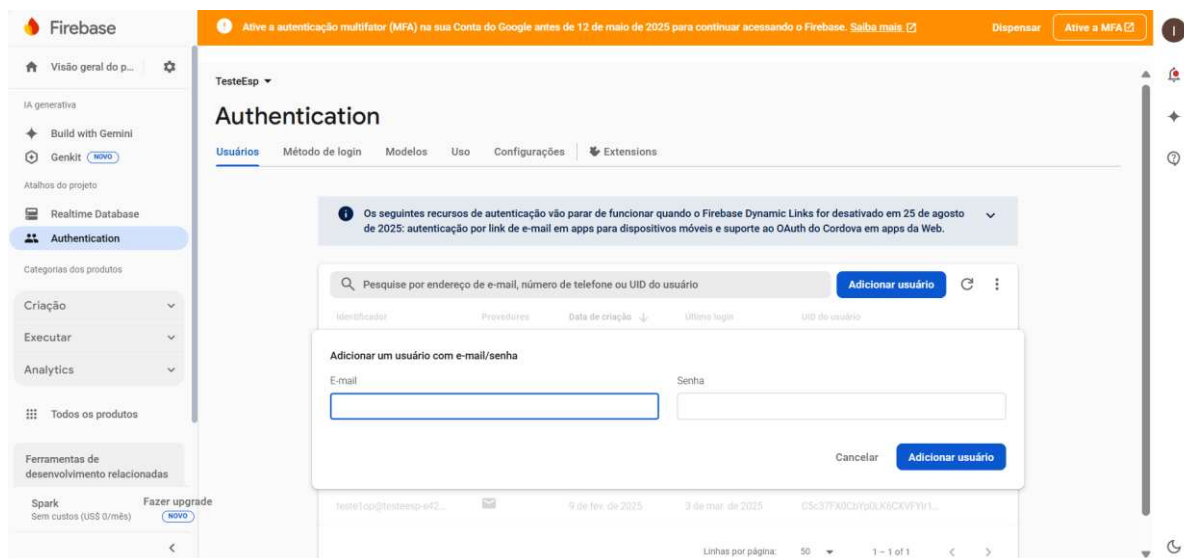
Fonte: Autor.

E para que o *ESP32* acesse o banco de dados *Firebase*, é necessário um método de autenticação. Neste projeto, optou-se pela autenticação via credenciais de acesso, onde, na seção *Authentication* do *Firebase* console, o usuário tem a opção de adicionar usuários fornecendo e-mail e senha, conforme demonstrado nas Figuras 4.14 e 4.15.

Figura 4.14 - Tela de autenticação do *Firebase RealTime Database*.

Fonte: Autor.

Figura 4.15 - Tela de gerenciamento de usuários do *Firebase RealTime Database*.



Fonte: Autor.

Após a aquisição das credenciais de acesso ao banco de dados, segue-se no desenvolvimento da estrutura do código para o microcontrolador *ESP32*. Este código é responsável por:

- Estabelecer a conexão do microcontrolador com a rede *Wi-Fi*;
- Acessar o banco de dados *Firebase*;
- Coletar os dados provenientes dos módulos sensores;
- Enviar as informações coletadas para o *Firebase Realtime Database*;
- Gerenciar o monitoramento e controle do sistema de aquicultura.

A implementação do software para o microcontrolador *ESP32*, inicia-se com a inclusão das bibliotecas necessárias ao funcionamento dos sensores. Em seguida, foram configurados os parâmetros para a conexão com a rede *Wi-Fi*, quanto ao *Firebase* e à definição das variáveis utilizadas no código. Para ilustrar o funcionamento do sistema e a lógica de programação, a seguir é apresentada a versão final do código implementado para este trabalho.

A implementação do software para o microcontrolador *ESP32* inicia-se com a inclusão das bibliotecas necessárias ao funcionamento dos sensores. Em seguida, foram configurados os parâmetros de conexão com a rede *Wi-Fi* e com o *Firebase*, além da definição das variáveis utilizadas no código. Para ilustrar o funcionamento do sistema e detalhar a lógica de programação, a seguir é apresentado a versão final do código implementado para o trabalho proposto.

```
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <addons/TokenHelper.h>
```

```

#include <addons/RTDBHelper.h>
#include <time.h> // Biblioteca para utilizar NTP e obter data/hora

// Credenciais WiFi e Firebase
#define WIFI_SSID "NOME_DA_REDE_WIFI"
#define WIFI_PASSWORD "SENHA_DA_REDE_WIFI"
#define API_KEY "CHAVE_DA_API_FIREBASE"
#define DATABASE_URL "URL_DA_API_FIREBASE"
#define USER_EMAIL "EMAIL_USUARIO_DA_API_FIREBASE"
#define USER_PASSWORD "SENHA_DA_API_FIREBASE"

// Configuração do Firebase e autenticação
FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;

unsigned long sendDataPrevMillis = 0;

// Variáveis do sensor de pH
const int potPin = 4;
float phValue = 0;
float ph = 0;

// Variáveis do sensor ultrassônico
#define pinTrigger 27
#define pinEcho 26
float distancia = 0;
#define divisor 58.0
#define intervaloMedida 5
#define qtdMedidas 20

// Variáveis do relé
int relePin = 5; // Pino onde o relé está conectado

// Variáveis do sensor de vazão
double calculoVazao;
volatile int contador = 0;
float fluxoAcumulado = 0;
portMUX_TYPE mux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;

// Função de interrupção para contar pulsos do sensor de vazão
void IRAM_ATTR Vazao() {
  portENTER_CRITICAL_ISR(&mux);
  contador++;
  portEXIT_CRITICAL_ISR(&mux);
}

// Funções do sensor ultrassônico
void sonarBegin(byte trig, byte echo) {
  pinMode(trig, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  digitalWrite(trig, LOW);
  delayMicroseconds(500);
}

float calcularDistancia() {
  float leituraSum = 0;
  float resultado = 0;

  for (int index = 0; index < qtdMedidas; index++) {
    delay(intervaloMedida);
    leituraSum += leituraSimples();
  }
}

```



```

    }

    resultado = leituraSum / qtdMedidas + 2.2;
    return resultado;
}

float leituraSimples() {
    long duracao = 0;
    float resultado = 0;

    digitalWrite(pinTrigger, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(pinTrigger, LOW);
    duracao = pulseIn(pinEcho, HIGH);
    resultado = (float)duracao / divisor;

    return resultado;
}

// Função para configurar NTP e obter a hora atual (fuso UTC-3)
void configTimeAndDate() {
    configTime(-3 * 3600, 0, "pool.ntp.org"); // Configura o fuso horário de Brasília (UTC-3)
    Serial.println("Configurando NTP...");
    while (!time(nullptr)) {
        Serial.print(".");
        delay(1000);
    }
    Serial.println("\nNTP configurado com sucesso!");
}

// Função para obter a data e hora atual formatada
String getFormattedDateTime() {
    time_t now = time(nullptr);
    struct tm timeinfo;
    localtime_r(&now, &timeinfo); // Obtém a hora local (com o fuso horário configurado)
    char buffer[26];
    strftime(buffer, sizeof(buffer), "%Y-%m-%d %H:%M:%S", &timeinfo);
    return String(buffer);
}

void setup() {
    //Utilizando o relé
    pinMode(relePin, OUTPUT); // Define o pino do relé como saída
    digitalWrite(relePin, LOW); // Inicialmente desliga o relé

    // Inicializa a comunicação serial
    Serial.begin(115200);

    // Conecta-se ao Wi-Fi
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    Serial.print("Conectando ao Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.print(".");
        delay(300);
    }
    Serial.println();
    Serial.print("Conectado com IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    // Configurações do Firebase
    config.api_key = API_KEY;
    auth.user.email = USER_EMAIL;

```



```

auth.user.password = USER_PASSWORD;
config.database_url = DATABASE_URL;
config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
Firebase.reconnectNetwork(true);
fbdo.setBSSLBufferSize(4096, 1024);
fbdo.setResponseSize(2048);
Firebase.begin(&config, &auth);
Firebase.setDoubleDigits(5);
config.timeout.serverResponse = 10 * 1000;

// Configuração dos sensores
pinMode(potPin, INPUT);
sonarBegin(pinTrigger, pinEcho);
pinMode(2, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), Vazao, RISING);

// Configuração do NTP para data e hora
configTimeAndDate();
}

void loop() {
  // Leitura do sensor de pH
  float Value = analogRead(potPin);
  float voltage = Value * (3.3 / 4095.0);
  ph = 7 + ((2.5 - voltage) * 3.5);
  Serial.print("pH: ");
  Serial.println(ph);

  // Leitura do sensor ultrassônico
  distancia = calcularDistancia();
  Serial.print("Distância: ");
  Serial.println(distancia);

  //acionamento do relé
  if (distancia > 23) { // Condição para ligar o relé (modifique conforme necessário)
    digitalWrite(relePin, HIGH); // Liga o relé
    Serial.println("Relé ligado");
  } else {
    digitalWrite(relePin, LOW); // Desliga o relé
    Serial.println("Relé desligado");
  }
  delay(1000); // Intervalo de tempo entre as leituras para acionamento do relé

  // Leitura do sensor de vazão
  static int contadorLocal = 0;
  portENTER_CRITICAL(&mux);
  contadorLocal = contador;
  contador = 0;
  portEXIT_CRITICAL(&mux);
  calculoVazao = (contadorLocal * 2.50);
  fluxoAcumulado += (calculoVazao / 1000);
  Serial.print("Fluxo acumulado (L): ");
  Serial.println(fluxoAcumulado);

  // Envio dos dados para o Firebase a cada 60 segundos
  if (Firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > 60000 || sendDataPrevMillis == 0)) {
    sendDataPrevMillis = millis();
    String dataHoraAtual = getFormattedDateTime(); // Obtém data e hora atual

    // Criar JSON para enviar o pH com a data e hora
    FirebaseJson json;
    json.set("/ph", ph);
  }
}

```

```

json.set("/dataHora", dataHoraAtual);
if (Firebase.RTDB.push(&fbdo, "/leituras/ph", &json)) {
  Serial.println("Dados de pH enviados com sucesso!");
} else {
  Serial.println("Erro ao enviar dados de pH: " + fbdo.errorReason());
}

// Criar JSON para enviar a distância com a data e hora
json.clear();
json.set("/distancia", distancia);
json.set("/dataHora", dataHoraAtual);
if (Firebase.RTDB.push(&fbdo, "/leituras/distancia", &json)) {
  Serial.println("Dados de distância enviados com sucesso!");
} else {
  Serial.println("Erro ao enviar dados de distância: " + fbdo.errorReason());
}

// Criar JSON para enviar o fluxo acumulado com a data e hora
json.clear();
json.set("/fluxoAcumulado", fluxoAcumulado);
json.set("/dataHora", dataHoraAtual);
if (Firebase.RTDB.push(&fbdo, "/leituras/fluxoAcumulado", &json)) {
  Serial.println("Dados de fluxo acumulado enviados com sucesso!");
} else {
  Serial.println("Erro ao enviar dados de fluxo acumulado: " + fbdo.errorReason());
}
}

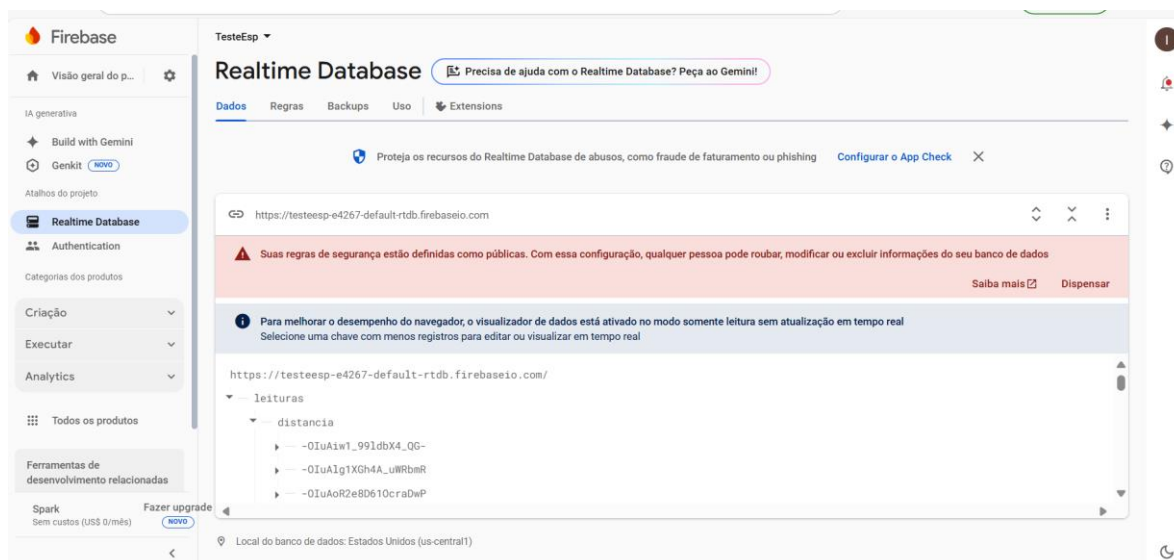
// Delay entre as leituras
delay(1000);
}

```

Com a estrutura do código compilada, procedeu-se com o processo de carregamento da estrutura desenvolvida no microcontrolador *ESP32*, utilizando a IDE do Arduino. Após a conclusão do *upload*, o microcontrolador foi inserido em sua localização definitiva no sistema, conforme apresentado na Figura 4.9.

E a partir desse momento, o *ESP32* iniciou o processo de monitoramento e controle estruturados, coletando dados dos sensores e transmitindo ao *Firebase*, como ilustrado na Figura 4.16. Essa etapa simboliza a implementação do sistema de monitoramento e controle, habilitando a aquisição, o armazenamento e o processamento dos dados, além do controle automatizado do ambiente de aquicultura.

Figura 4.16 - Armazenamento das leituras no Firebase.



Fonte: Autor.

E por fim, na fase de desenvolvimento do código, após a implementação das rotinas de coleta de dados, definiu-se o intervalo de tempo entre as leituras dos sensores que serão encaminhadas ao banco de dados, e para tal, considerou diversos fatores, como a frequência ideal de atualização dos dados e a relevância dos dados capturados pelos sensores em intervalos de tempos. E buscando um equilíbrio entre a precisão das informações e a otimização dos recursos, estabeleceu-se inicialmente um intervalo de 10000 milissegundos entre as amostras.

4.4 MONITORAMENTO E CONTROLE

Durante o desenvolvimento deste projeto, verificou-se a necessidade de aprimorar a apresentação e o processamento dos dados coletados aos usuários finais. Embora o acesso direto a aplicação *Firebase* permite-se a visualização das informações, buscou-se uma solução mais intuitiva e amigável.

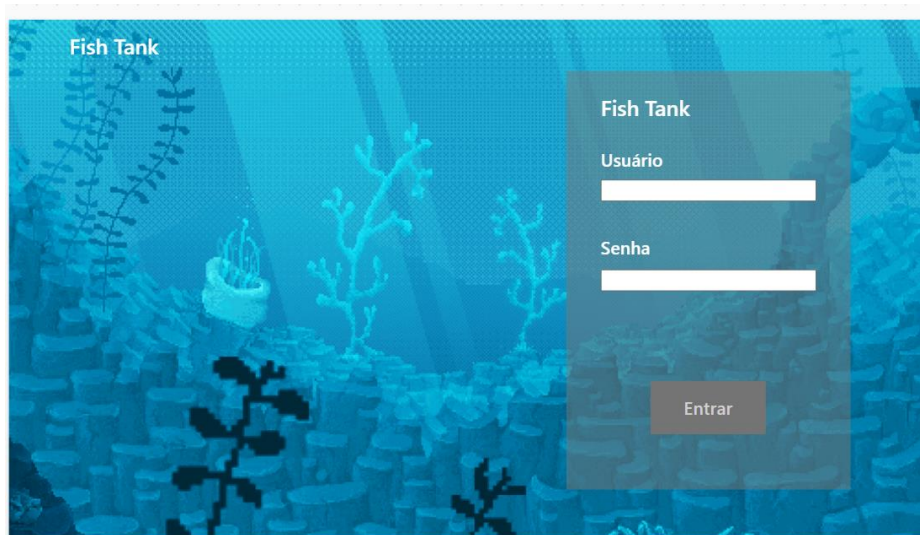
Nesse contexto, desenvolveu-se uma interface *web* simplificada, utilizando a ferramenta *Power Apps*, visando exibir todos os parâmetros monitorados pelo sistema de aquicultura e os dados climáticos, facilitando assim o acesso e a interpretação dos dados pelos usuários.

Após a definição do *layout* dos elementos visuais da interface *web*, a integração com o banco de dados *Firebase* tornou-se o próximo passo crucial. Para estabelecer essa conexão, utilizou-se as ferramentas de conexão nativas da aplicação *Power Apps*, acessando e gerenciando as credenciais do banco de dados do *Firebase*, permitindo acesso à base de dados em tempo real.

A interface *web* foi enriquecida com funcionalidades interativas, possibilitando ao usuário segmentar os resultados por período, e visualizar os dados dos módulos, conforme

ilustrado na Figura 4.17. Essa implementação permitiu a visualização dinâmica dos dados coletados pelo sistema de aquicultura, proporcionando uma experiência de usuário personalizada e informativa.

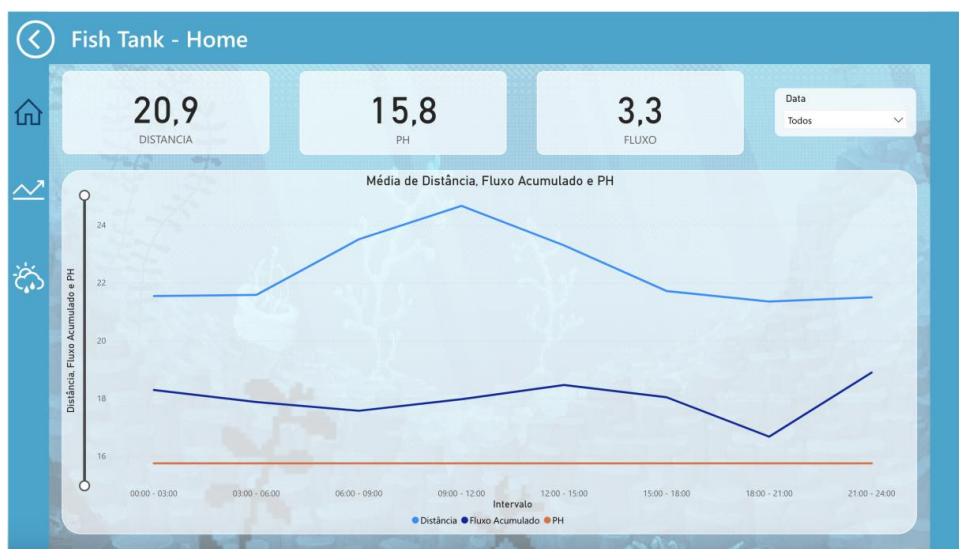
Figura 4.17 - Sistema de Login Fish Tank



Fonte: Autor.

Visando a simplificação e a otimização da visualização dos dados, optou-se também por replicar a análise de dados na aplicação *Power BI*. Essa plataforma oferece recursos para a criação de relatórios interativos, incluindo a conexão direta com o banco de dados *Firebase* e a geração de gráficos e tabelas dinâmicas, conforme ilustrado na Figura 4.18.

Figura 4.18 - Página inicial do Fish Tank



Fonte: Autor.

Após a autenticação bem-sucedida, o sistema de monitoramento de aquicultura oferece ao usuário acesso a três visões estratégicas sobre os dados coletados:

Visão "*Home*": Esta tela inicial serve como um dashboard intuitivo, apresentando rapidamente os valores médios de atividade e parâmetros do sistema para cada faixa horária. Isso permite uma compreensão imediata dos padrões diários de comportamento e das condições gerais do sistema ao longo do tempo.

Visão "Média": Consolidando os dados brutos, esta visão oferece a média horária identificada nos principais parâmetros monitorados. É fundamental para identificar tendências de longo prazo, variações significativas e para uma análise mais aprofundada do desempenho do sistema e da saúde dos organismos aquáticos.

Visão "Temperatura": Dedicada exclusivamente às condições climáticas, esta visão exibe os dados de temperatura ambiente observados na cidade de Pirapora. É útil para correlacionar as atividades dos peixes e o funcionamento do sistema com o ambiente externo, auxiliando na identificação de impactos de variações térmicas e no planejamento de estratégias de manejo mais adaptadas ao clima local.

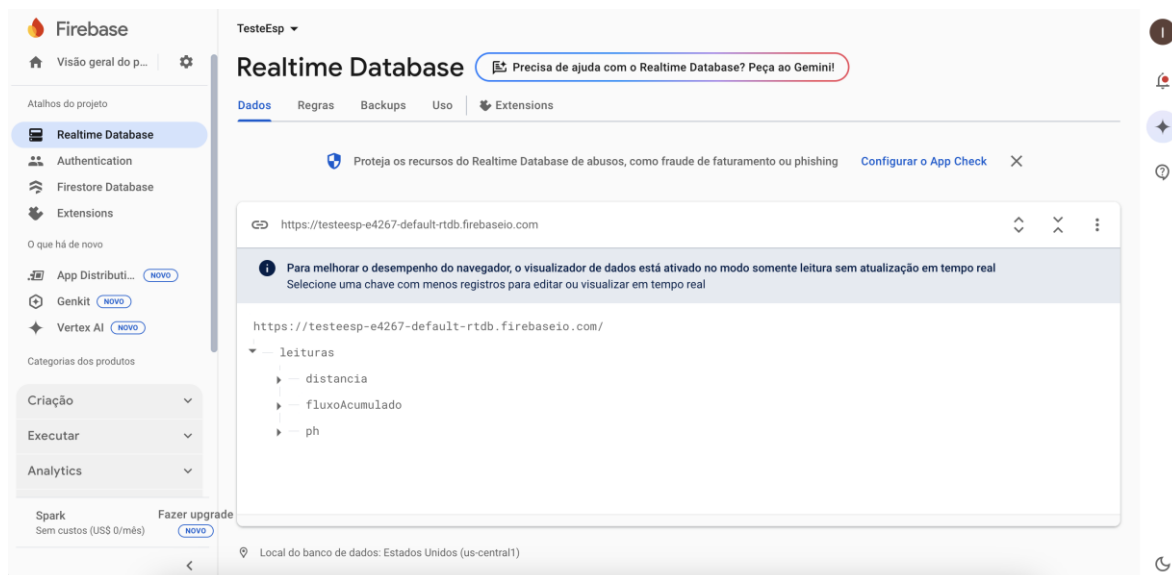
5 RESULTADOS

Após a fase de implementação prática do sistema de aquicultura, o qual foi projetado para monitorar variáveis como o pH, fluxo acumulado e o nível da água do tanque, as informações coletadas por estes módulos são transmitidas, para o banco de dados *Firebase*, permitindo análises e suportando à tomada de decisões sobre o sistema de aquicultura.

Com o início do funcionamento do módulo, o sistema passou a adquirir dados relevantes para o acompanhamento do sistema, como as medições do pH da água, fluxo acumulado e medição do nível de água no tanque. Simultaneamente, o sistema de reabastecimento automático mostrou-se funcional em partes, sendo acionado quando o sensor ultrassônico indicou que o nível de água no tanque estava inferior ao estipulado.

Nesse instante, a válvula solenoide é ativada, providenciando o abastecimento do tanque até que o sistema alcance o nível ideal. Todos os dados registrados pelos módulos são encaminhados ao banco de dados *Firebase*, possibilitando a consulta através da interface *web* utilizando o *Power Apps*, ou do painel de administração do banco de dados *Firebase*, conforme ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Visualização de dados dos módulos.



Fonte: Autor.

As leituras dos sensores foram enviadas ao banco de dados a cada 60 segundos. Após esse período, caso a distância do sensor ultrassônico estivesse acima do nível indicado (maior que 22 cm entre o sensor e a água do tanque), o sistema de abastecimento era acionado. Esse processo ocorria por meio de um módulo relé, que ativava uma válvula solenoide para permitir o abastecimento do tanque, até que a distância entre o sensor e a água ficasse igual ou inferior a 20 cm.

Durante os testes realizados, o sistema de abastecimento quando acionado jogava ao tanque em média 30 ml por segundo, um valor preciso não possível devido a depender de fatores externos como o sistema de pressurização da água da companhia de água da cidade de Pirapora – MG.

E para visualizar os dados dos sensores, existem 3 possibilidades: acesso direto ao banco de dados *Firebase*, utilizar a aplicação *Power BI* ou acessar a página *web*. Nos testes constatou-se que se a atualização dos módulos de sensores fosse em tempo real os dados seriam também atualizados em real time, porém custos e outros pontos de complexidade deveriam ser trabalhados como a necessidade de duplicar a base de dados para um banco de dados não dinâmico para não incidir custos extras.

A página *web* fornece uma estrutura robusta com uma página inicial, sendo necessário acessar usando as informações cadastradas de usuário e senha, conforme ilustrado na Figura 4.17.

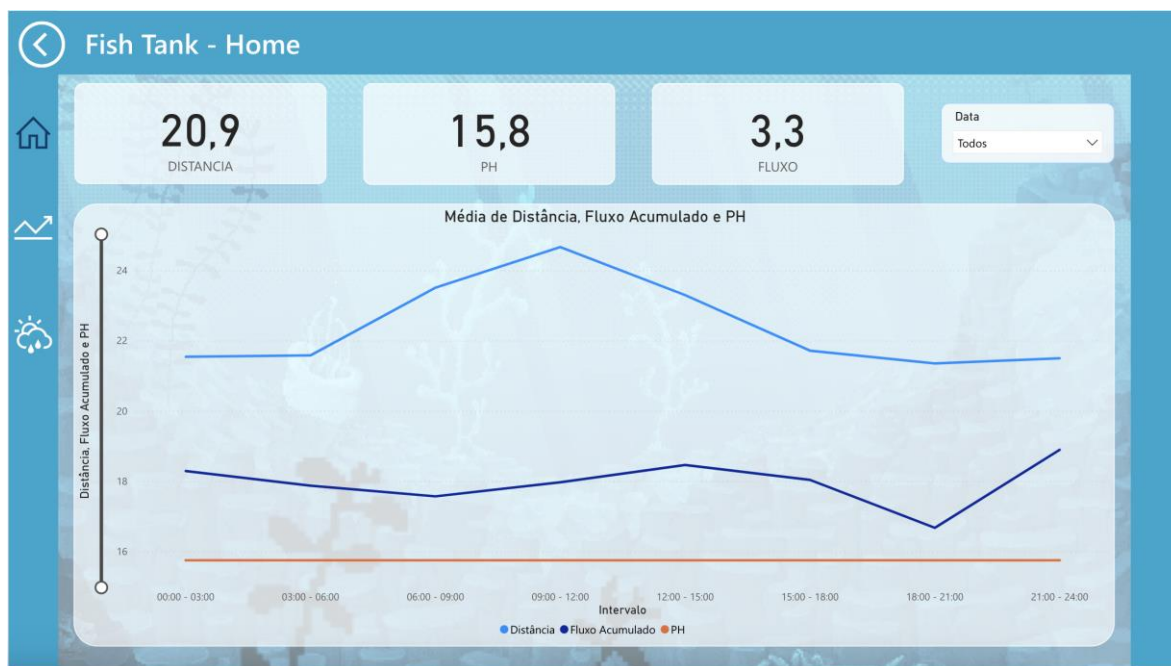
A página Home apresenta um resumo dos valores monitorados, com a Figura 5.2 ilustrando a evolução diária da distância, do fluxo acumulado e do pH. Os dados revelam um comportamento interessante: tanto a distância quanto o fluxo acumulado apresentam um pico em torno do meio-dia (09:00 - 12:00), que coincide com o horário em que a temperatura ambiente alcança seu máximo.

Essa ocorrência simultânea aponta para uma possível correlação entre esses parâmetros e as condições ambientais, onde o aumento da temperatura pode influenciar tanto a distância medida pelo sensor quanto o fluxo acumulado. Além da influência direta da temperatura ambiente, a reatividade dos peixes nesse horário (possivelmente em resposta a variações de temperatura ou iluminação) poderia ser uma variável interveniente, afetando as leituras de distância e o fluxo acumulado no sistema.

A página "Média" do painel oferece uma análise estatística dos dados monitorados ao longo do período selecionado, conforme ilustra a Figura 5.3. Nesta página os dados monitorados são sintetizados de modo a exibir tanto os valores médios registrados de maneira diária quanto os extremos (mínimos e máximos) observados durante o período em análise.

Os valores médios de distância, fluxo e pH são apresentados de forma concisa, juntamente com seus respectivos limites. O gráfico de linhas subsequente ilustra a tendência diária dessas médias ao longo do tempo.

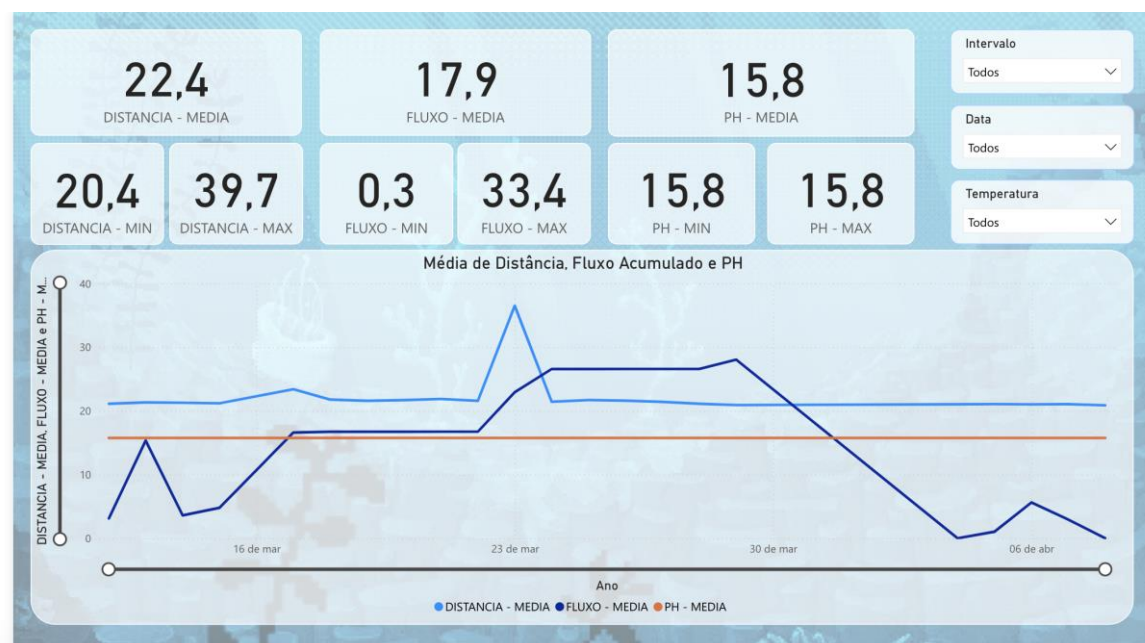
Figura 5.2 - Página Home.



Fonte: Autor.

Uma funcionalidade chave desta página é a capacidade de refinar a visualização e análise dos dados através de filtros por intervalo de horário, data e temperatura, permitindo aos usuários identificarem padrões e correlações específicas dentro do conjunto de dados.

Figura 5.3 - Página Média.



Fonte: Autor.

A página Temperatura centraliza as informações relativas às condições térmicas e ambientais da estação meteorológica mais próxima ao local onde o projeto foi realizado, conforme ilustrado na Figura 5.4. Além de exibir valores médios de temperatura interna,

umidade instantânea e velocidade do vento, a página fornece dados médios relevantes como pressão, radiação, chuva máxima, ponto de orvalho, rajada e direção do vento.

O gráfico de linhas principal ilustra a dinâmica da temperatura interna ao longo do período selecionado. A granularidade horária do eixo horizontal permite identificar claramente os ciclos diurnos de aquecimento e resfriamento. Assim como nas outras páginas, filtros de intervalo, data e temperatura estão disponíveis para uma análise mais específica e direcionada dos dados.

Figura 5.4 - Página Temperatura.



Fonte: Autor.

Para uma análise abrangente do sistema de aquicultura, os dados apresentados no site podem ser personalizados para diferentes períodos, intervalos, bem como temperatura. A acessibilidade dessas informações é garantida através de várias ferramentas online: o *Power BI*, conforme ilustra a Figura 5.2, oferece uma visualização intuitiva; o *Power Apps* pode fornecer a interface principal da solução e acesso aos dados; e o *Firebase* pode atuar como o sistema de armazenamento e gerenciamento dos dados subjacentes.

A visualização de dados no *Power BI* foi diretamente influenciada pela frequência de atualização do banco de dados e pelas limitações da licença do *Power BI*. A licença de estudante utilizada no desenvolvimento deste trabalho permitia um máximo de 8 atualizações diárias, com intervalos mínimos de 30 minutos.

Atualmente, a atualização dos dados no projeto é realizada a cada duas horas. É importante destacar que, mesmo com uma licença premium, a frequência nativa da plataforma permanece limitada a um mínimo de 30 minutos. Para cenários que demandam uma

granularidade de atualização mais flexível, outras soluções da *Microsoft* podem ser consideradas a fim de otimizar o intervalo de atualização dos dados.

Nos testes realizados, o tempo médio de atualização no *Power BI* foi de cinco a sete minutos. Esse tempo é necessário para extrair todas as informações do banco de dados e construir um novo modelo a cada ciclo de atualização. A necessidade de processar todos os dados a cada atualização pode limitar a frequência ideal e deve ser considerada, especialmente em cenários com grandes volumes de dados. E para otimizar esse processo em futuras implementações, a exploração de estratégias como a atualização incremental poderia reduzir significativamente o tempo e permitir uma maior frequência de atualização.

Uma das principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto foi a lógica de acionamento do sistema de abastecimento. Como o sistema utilizava valores instantâneos do sensor ultrassônico, variações rápidas no nível da água, causadas pela atividade dos peixes, levavam a acionamentos inesperados.

E em algumas ocasiões, essa dependência de leituras pontuais impedia que o sensor registrasse o aumento real do nível da água, enquanto em outras, resultava em um enchimento excessivo do aquário. Essa vulnerabilidade a flutuações momentâneas comprometeu o controle preciso do nível da água e a estabilidade do sistema.

E para viabilizar a solução do sistema de controle para pequenos produtores em um ambiente de produção, fora da plataforma de desenvolvimento Power Apps, é fundamental hospedá-la em um domínio dedicado. Essa migração proporcionaria uma experiência de usuário mais fluida e integrada, eliminando a dependência do ambiente de desenvolvimento e otimizando o acesso para os usuários finais.

E o monitoramento do sistema de aquicultura foi contínuo e ininterrupto por um período de 27 dias, garantindo uma coleta robusta de dados. As atualizações na base de dados ocorriam a cada minuto, o que permitiu uma análise detalhada do funcionamento do sistema. Adicionalmente, o período inicial de uso e os momentos de manutenção programada foram marcados por flutuações significativas nos dados coletados do aquário, exigindo atenção especial na interpretação dos resultados.

6 CONCLUSÃO

Durante a execução deste projeto, o objetivo central foi o desenvolvimento de uma solução automatizada e acessível, voltada para o acompanhamento da piscicultura em escala de pequenos produtores. O módulo resultante demonstrou a viabilidade desse propósito, superando desafios como o custo elevado de equipamentos e a necessidade de monitoramento ininterrupto.

A arquitetura implementada utiliza sensores e atuadores para a aquisição de dados relevantes e a execução de operações autônomas no cultivo dos peixes. Essa estratégia dispensa a necessidade de intervenção humana direta, otimizando o processo e minimizando a ocorrência de equívocos. A visualização dos dados coletados é realizada de maneira simplificada e intuitiva, permitindo a análise detalhada do crescimento e desenvolvimento dos peixes.

Uma extensão do período de monitoramento poderia fornecer uma perspectiva mais aprofundada, revelando padrões de comportamento tanto dos sistemas quanto dos peixes sob condições ambientais diversas. O estudo atual abrangeu especificamente o final do verão e o início do outono em Pirapora-MG, um período caracterizado por temperaturas ambientes elevadas, umidade relativa do ar normal e baixa ocorrência pluviométrica. A realização de testes em outras localidades com características climáticas distintas representaria uma valiosa oportunidade para identificar novas variáveis e padrões nos dados, enriquecendo a compreensão sobre a adaptabilidade dos sistemas e dos organismos aquáticos.

Os dados coletados permitiram inferir que a atividade dos peixes atingia seu ápice ao meio-dia, coincidindo com os picos de temperatura e iluminação. Este comportamento pode ser interpretado como uma reação ao estresse ambiental, indicando a necessidade de futuras investigações. Seria particularmente interessante conduzir uma análise em condições inversas, ou seja, em uma faixa de temperatura significativamente menor, para avaliar a resposta fisiológica e comportamental dos peixes em um cenário de menor estresse térmico, o que poderia otimizar as estratégias de manejo e bem-estar animal na aquicultura.

Para trabalhos futuros, propõe-se a investigação das seguintes abordagens:

- Aplicação de algoritmos de inteligência artificial:
 - Para aprimorar a capacidade de previsão e tomada de decisões do sistema, como a identificação precoce de enfermidades ou a otimização da alimentação dos peixes.
- Integração com plataformas de agricultura 4.0:
 - Para habilitar o acesso e o controle remoto do sistema por meio de dispositivos móveis, ampliando a acessibilidade da tecnologia.
- Criação de um sistema de alerta personalizado:
 - Que notifique o produtor sobre situações críticas, como oscilações bruscas nos parâmetros da água ou falhas no sistema de abastecimento.
- Estudos para otimização de energia:
 - Para assegurar que o equipamento opere com menor consumo energético e, potencialmente, utilize energia solar.
- Testes em distintos tipos de criação:

- Para expandir a abrangência do produto e assegurar sua adaptabilidade a diversas necessidades.

REFERÊNCIAS

- [1] DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA REFLEXÃO SOBRE OS DESAFIOS E SEUS IMPACTOS. Disponível em <<https://www.ffalegal.com.br/post-1/desenvolvimento-sustentavel-uma-reflexao-sobre-os-desafios-e-seus-impactos>>, acessado em outubro de 2022.
- [2] ONU APONTA ADENSAMENTO MÍNIMO COMO ESTRATÉGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. DISPONÍVEL em <<https://www.canalesadvogados.com.br/2022/09/30/onu-aponta-adensamento-minimo-como-estrategia-para-o-desenvolvimento-sustentavel/>>, acessado em outubro de 2022.
- [3] POPULAÇÃO MUNDIAL CHEGARÁ A 8 BILHÕES EM NOVEMBRO DE 2022. Disponível em <[https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022#:~:text=A população global está crescendo,9%2C7 bilhões em 2050.](https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022#:~:text=A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20global%20est%C3%A1%20crescendo,9%2C7%20bilhoes%20em%202050.)>, acessado em outubro de 2022.
- [4] EM 2050, TERRA TERÁ QUASE 10 BILHÕES DE PESSOAS, COMO SE PREPARAR? Disponível em <<https://www.terra.com.br/byte/em-2050-terra-tera-quase-10-bilhoes-de-pessoas-como-se-preparar,15b6f035a749da5ced015530f0eeb7d14d4u1q35.html>>, acessado em outubro de 2022.
- [5] O DESAFIO DE AUMENTAR A EFICIÊNCIA. Disponível em <<http://fabiogoncalves.com.br/wp/?p=1669>>, acessado em outubro de 2022.
- [6] AGRICULTURA 4.0: UM LEVANTAMENTO DAS TECNOLOGIAS PARA O FUTURO DA AGRICULTURA. Disponível em <<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4209>>, acessado em outubro de 2022.
- [7] AGRICULTURA 4.0. Disponível em <<https://www.myfarm.com.br/agricultura-4-0/>>, acessado em outubro de 2022.
- [8] AGRICULTURA 4.0, O QUE É? Disponível em <<https://effortech.com.br/agricultura-4-0-o-que-e-importancia-e-beneficios/>>, acessado em outubro de 2022.
- [9] CEARÁ. GOVERNO DO ESTADO. AQUICULTURA E AGRONEGÓCIO. FORTALEZA: SEDUC, 2011. Disponível em <https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/agronegocio_aquicultura.pdf>, acessado em novembro de 2022.
- [10] SOUZA, JOÃO ALBERTO DE ET AL. AQUICULTURA NO BRASIL: O DESAFIO É CRESCER. BRASÍLIA: EMBRAPA, 2010.
- [11] AQUICULTURA: A NOVA FRONTEIRA PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO MUNDIAL DE ALIMENTOS DE FORMA SUSTENTÁVEL. Disponível em <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU_n17_Aquicultura.pdf>, acesso em novembro de 2022.
- [12] EL ESTADO MUNDIAL DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA: CONTRIBUCIÓN A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA NUTRICIÓN PARA TODOS. ROMA: FAO, 2016. 226 P. Disponível em <<https://www.fao.org/3/i5798s/i5798s.pdf>>, acessado em novembro de 2022.
- [13] CYRINO, J. E. P. MANEJO ALIMENTAR EFICAZ VIABILIZA AQUACULTURA LUCRATIVA E SUSTENTÁVEL. ANO DE PUBLICAÇÃO. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va11-nutricao01.pdf>>, acessado em novembro de 2022.

- [14] SILVA, J.M.P. E CAVICHIOLI, F.A. 2020. O USO DA AGRICULTURA 4.0 COMO PERSPECTIVA DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NO CAMPO. REVISTA INTERFACE TECNOLÓGICA. 17, 2 (DEZ. 2020), 616–629. Disponível em <<https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.1068>>, acessado em novembro de 2022.
- [15] THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2016 [FAO]. Disponível em <<https://www.fao.org/3/i6132e/i6132e.pdf>>, acessado em novembro de 2022.
- [16] BNDES SETORIAL, N. 35, MAR. 2012, P. 421-463
- [17] OLIVEIRA NETO, ONÉAS EDUARDO DE. QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCICULTURA EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO COM TRATAMENTO DE EFLUENTES POR BIOMÍDIAS ALTERNATIVAS E FITORREMEDIAÇÃO. Disponível em <<https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3652>>, acessado em novembro de 2022.
- [18] FINKELSTEIN, R. UM SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA AQUAPONIA BASEADO EM INTERNET DAS COISAS. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/184970>>, acessado em novembro de 2022.
- [19] SOARES, F. A. (2019). DESENVOLVIMENTO DE UM ALIMENTADOR DE PEIXES MICROCONTROLADO PARA SISTEMAS DE AQUAPONIA. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/198644>>, acessado em outubro de 2022.
- [20] LIMA, C. H. P. MODELAGEM E CONTROLE DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO ALIMENTADOR DE PEIXES. 2018. Disponível em: <<https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/cursos/engenharia-eletrica/TCC-EE/ano-2018/tcc-cezar-henrique-pereira-de-lima-2018-2.pdf>>, acessado em novembro de 2022.
- [21] DANTAS, MATHEUS FERNANDES DO NASCIMENTO. UM SISTEMA DE TELEMONTORAMENTO E AUTOMAÇÃO BASEADO EM REDE LORA PARA CRIAÇÃO DE CAMARÃO. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/61231?locale=en>>, acessado em novembro de 2022.
- [22] BRASIL. LEI Nº 11.959, DE 29 DE JUNHO DE 2009. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/11959.htm>, acessado em novembro de 2023.
- [23] THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE 2020, FAO. Disponível em <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>>, acessado em novembro de 2022.
- [24] VIEIRA, MAUREM RAMON. "OS PRINCIPAIS PARÂMETROS MONITORADOS PELAS SONDAS MULTIPARÂMETROS SÃO: PH, CONDUTIVIDADE, TEMPERATURA, TURBIDEZ, CLOROFILA OU CIANOBACTÉRIAS E OXIGÊNIO DISSOLVIDO." AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS–ANA-2015 (2019).
- [25] ARAÚJO, THAÍS PAULA, ET AL. "TOXICIDADE DE COMPOSTOS NITROGENADOS EM PEIXES INFLUENCIADA POR PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA: UMA REVISÃO NARRATIVA." RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT 10.11 (2021).
- [26] LEMOS, CARLOS HENRIQUE DA PAIXÃO. "EFEITO DO PH DA ÁGUA NO CRESCIMENTO E NO METABOLISMO DE TILÁPIA-DO-NILO E PINTADO AMAZÔNICO." (2019).
- [27] PEIXE BR. ANUÁRIO 2023 DA PISCICULTURA. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario/>>, acessado em janeiro de 2024.

- [28] SOUZA, FRANÇOIA COSTA, AND JEAN LOUCHARD FERREIRA SOARES. "ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UMA PISCICULTURA TRADICIONAL DA COMUNIDADE DO GUAJARÁ NO MUNICÍPIO DE CAMETÁ-PA." BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT 6.1 (2020): 3964-3976.
- [29] OLIVEIRA NETO, ONÉAS EDUARDO DE. "QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCICULTURA EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO COM TRATAMENTO DE EFLUENTES POR BIOMÍDIAS ALTERNATIVAS E FITORREMEDIAÇÃO". 2022. Disponível em < <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3652>>, acessado em dezembro de 2023.
- [30] FIGUEIREDO, FABIANO MOREIRA, ET AL. "QUALIDADE DA ÁGUA NA PISCICULTURA." PISCICULTURA E MEIO AMBIENTE, ESTUDOS E PERSPECTIVAS NA AMAZÔNIA 1. Disponível em < https://edufro.unir.br/uploads/08899242/ebooks/ebook_pesca_unir_2017.pdf >, acessado em dezembro de 2023.
- [31] TOIGO, VITOR HUGO. "SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA NA PISCICULTURA." REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO E INOVAÇÃO DA UNIVEL (REBEIS) 1.3 (2023): 8-27.
- [32] Robert D. Christ, Robert L. Wernli, Chapter 2 - The Ocean Environment, The ROV Manual (Second Edition), Butterworth-Heinemann, 2014, Pages 21-52, ISBN 9780080982885. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098288-5.00002-6>>, acessado em novembro de 2023.
- [33] OLIVEIRA ZENI, THAYZI, AND ANTONIO OSTRENSKY. "RESPOSTAS ADAPTATIVAS DE PEIXES A ALTERAÇÕES AMBIENTAIS DE TEMPERATURA E DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO." ARCHIVES OF VETERINARY SCIENCE 21.3 (2016).
- [34] PEREIRA, GABRIELLE ALBERTA, GUSTAVO HENRIQUE OLIVEIRA, AND ANDRÉ LUIZ PINTO. "AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO COMO PRINCIPAL INDICADOR DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO CÓRREGO BOM JARDIM, BRASILÂNDIA/MS." REVISTA GEOMAE 1.1 (2010): 69-82.
- [35] OSTRENSKY, ANTONIO; COZER, NATHIELI; SILVA, UBIATÃ DE A T. A PRODUÇÃO INTEGRADA NA CARCINICULTURA BRASILEIRA. E-BOOK, 2017 Disponível em <<https://gia.org.br/portal/produto/a-producao-integrada-na-carcinicultura-brasileiravolume-2/>>, acessado novembro de 2023.
- [36] RODRIGUES, A.P.O. ET AL. PISCICULTURA DE ÁGUA DOCE – MULTIPLICANDO CONHECIMENTOS. EMBRAPA, 2013.440P.
- [37] SIMÕES, VERÓNICA SOFIA OLIVEIRA. EFEITO DO AQUECIMENTO E ACIDIFICAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NA QUALIDADE NUTRICIONAL DO LINGUADO. 2019. Disponível em <<https://run.unl.pt/handle/10362/89464>>, acessado em novembro de 2023.
- [38] AMARAL, MATHEUS ANTONIO, ET AL. "QUALIDADE DE ÁGUA COMO ALICERCE PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE PEIXES À PEQUENOS PRODUTORES." REVISTA ON LINE DE EXTENSÃO E CULTURA-REALIZAÇÃO 7.13 (2020): 131-144.

[39] SOUSA, DEBORA FORTE DE. O COMPORTAMENTO DOS PEIXES CRIADOS EM CATIVEIRO COMO INDICADOR DE QUALIDADE DE ÁGUA. 2023. Disponível em <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/53833>>, acessado em novembro de 2023.

[40] SIQUEIRA, TAGORE VILLARIM DE. AQUICULTURA: A NOVA FRONTEIRA PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO MUNDIAL DE ALIMENTOS DE FORMA SUSTENTÁVEL. Disponível em <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU_n17_Aquicultura.pdf>, acessado em novembro de 2023.

[41] QUEIROZ, JULIO FERRAZ DE; FREATO, THIAGO ARCHANGELO; LUIZ, ALFREDO JOSÉ BARRETO; ISHIKAWA, MÁRCIA MAYUMI; FRIGHETTO, ROSA TOYOKO SHIRAISHI. BOAS PRÁTICAS DE MANEJO PARA SISTEMAS DE AQUAPONIA. BRASÍLIA: EMBRAPA, 2018. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178041/1/2018DC01.pdf>>, acessado em novembro de 2023.

[42] OLIVEIRA, ALLISON LOPES, WILLIAN ANTONIO GONÇALVES, AND RAPHAEL MAGALHÃES HOED. "ARDUINO: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO INTRODUTÓRIO DE PROGRAMAÇÃO C/C++: ARDUINO: A PROPOSAL FOR TEACHING INTRODUCTORY TEACHING OF C/C++ PROGRAMMING." LATIN AMERICAN JOURNAL OF DEVELOPMENT 3.4 (2021): 2288-2296.

[43] SILVA, HUGO EDUARDO FIDELES, ROGER SANTOS KOGA, AND ÉRIKA CRISTINA NOGUEIRA MARQUES PINHEIRO. "MODELO DE BRAÇO ELETROMECÂNICO CONTROLADO POR UM ARDUINO: APLICAÇÃO NA SEPARAÇÃO DE MATERIAIS: ELECTROMECHANICAL ARM MODEL CONTROLLED BY AN ARDUINO: APPLICATION IN MATERIALS SEPARATION." BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT 8.11 (2022): 71746-71765.

[44] ARDUINO. ARDUINO UNO REV3. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>>, acessado em novembro de 2023.

[45] MORAIS, JULIETTY BARRETO MAIA, LIRIO SHAEFFER, AND RODERVAL MARCELINO. "UTILIZAÇÃO DE IOT PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E MONITORAMENTO NO PROCESSO DE ESTAMPAGEM INDUSTRIAL—UMA REVISÃO." REVISTA FOCO 16.02 (2023): E969-E969.

[46] SAFIRATEC. PLACA ESP32 WROOM-32 CP2102 WIFI BLUETOOTH DEVKIT 38 PINOS. Disponível em <<https://www.safiratec.com.br/produto/placa-esp32-wroom-32-cp2102-wifi-bluetooth-devkit-38-pinos>>, acessado em novembro de 2023.

[47] ROSA, BRUNO VIEIRA. HYDROSYS - SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA A VISUALIZAÇÃO DE DADOS APLICADA À SISTEMAS HIDROPÔNICOS. Disponível em <<https://hto.ifsp.edu.br/portal/index.php/cex/cex-aco-es-extensao/cex-projetos-programas/cex-projetos-extensao-encerrados/80-institucional/coord-ads>>, acessado em novembro de 2023.

[48] SARAVATI. SENSOR PH MÓDULO PH4502C + PH ELETRODO. Disponível em <<https://www.saravati.com.br/sensor-ph-modulo-ph4502c-ph-eletrodo.html>>, acessado em novembro de 2023.

[49] RAMESH SAHA, BISWAS, S., SARMAH, S. ET AL. A WORKING PROTOTYPE USING DS18B20 TEMPERATURE SENSOR AND ARDUINO FOR HEALTH MONITORING. SN COMPUT. SCI. 2, 33 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2>

- [50] ROBOCORE. SENSOR DE TEMPERATURA MODELO DS18B20. Disponível em <<https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-de-agua>>, acessado em novembro de 2023.
- [51] INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em <<https://portal.inmet.gov.br/>>, acessado em janeiro de 2025.
- [52] SENSOR DE FLUXO D'ÁGUA YF-B6. Disponível em <<https://www.afeletronica.com.br/sensor-vazao-agua>>, acessado em novembro de 2023.
- [53] Florintino, LUIZ FELIPE. MEDIDOR DE CONSUMO E QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA IOT. BS THESIS. 2023. Disponível em <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/31687?mode=full>>, acessado em novembro de 2023.
- [54] LIBERATO, MARCIO JOSÉ. ERB-MON: UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO DE RÁDIO BASE. 2022. Disponível em <<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2208>>, acessado em novembro de 2023.
- [55] SANTOS, RAMON OLIVEIRA BORGES. "DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PID DISCRETO APLICADO AO CONTROLE DE TEMPERATURA: PROTÓTIPO COM ARDUINO UNO E MÓDULO RELÉ." ENIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.
- [56] A2 ROBOTICS. MÓDULO RELÉ 4 CANAIS 5V. Disponível em <<https://www.a2robotics.com.br/modulo-rele-04-canal-5v>>, acessado em novembro de 2023.
- [57] LEARN MICROSOFT. WHAT IS POWER APPS? Disponível em <<https://learn.microsoft.com/en-us/power-apps/powerapps-overview>>, acessado em janeiro de 2024.
- [58] MICROSOFT. POWER BI. Disponível em <<https://www.microsoft.com/pt-br/power-platform/products/power-bi>>, acessado em janeiro de 2024.
- [59] LORD AQUARIUM. TESTE DE PH PARA ÁGUA DE AQUÁRIOS. Disponível em <https://www.lordaquarium.com.br/MLB-1481880465-labcon-teste-de-ph-tropical-agua-doce-15-ml-60-testes-full-_JM>, acessado em janeiro de 2024.