

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

GABRIEL ANTÔNIO DE MELO SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA AQUÁRIOS
CONTROLADO POR UMA APLICAÇÃO WEB**

Patos de Minas - MG
2025

GABRIEL ANTÔNIO DE MELO SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA
AQUÁRIOS CONTROLADO POR UMA APLICAÇÃO WEB**

Monografia apresentada à banca examinadora como requisito parcial da disciplina de PFC2 da graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro L. L. Bertarini

GABRIEL ANTÔNIO DE MELO SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA
AQUÁRIOS CONTROLADO POR UMA APLICAÇÃO WEB**

Monografia apresentada à banca examinadora
como requisito parcial da disciplina de PFC2 da
graduação em Engenharia Eletrônica e de
Telecomunicações, da Faculdade de
Engenharia Elétrica, da Universidade Federal
de Uberlândia, campus Patos de Minas.

Patos de Minas – MG, 23 de setembro de 2025

Prof. Dr. Pedro L. L. Bertarini, UFU/MG

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos, UFU/MG

Profa. Dra. Elise Saraiva, UFU/MG

Dedico este trabalho ao meu tríplice alicerce, sou
resultado das orações e ensinamentos de vocês, minha mãe
Maria Teresa de Melo, minha avó Elisabeth de Lourdes
Ferini de Melo e meu avô José Bandeira de Melo.
Foi por vocês e para vocês.

AGRADECIMENTOS

Há um provérbio africano que afirma que “para criar uma criança é preciso uma vila inteira”. Na língua zulu, há ainda a palavra *ubuntu*, que traduz a ideia de que “eu sou porque nós somos”. É com esse espírito de coletividade e gratidão que reconheço as pessoas que compõem a minha própria “vila”: meu vô Bandeira, minha vó Beth, minha mãe Maytê, meus irmãos Jonas, Giovanna e Matheus, e a mais nova integrante, minha noiva Déborah, que trouxe um novo e profundo sentido à palavra “nós”.

Nenhuma vila se sustenta sem seus anciãos e mestres. Meus professores foram essa presença fundamental: aqueles que, com paciência, guiaram meu caminho, desafiaram meus limites e mostraram que a educação vai muito além do conteúdo em sala de aula. A cada orientação, crítica e incentivo, contribuíram para moldar não apenas o profissional, mas também a pessoa que hoje me torno. Agradeço especialmente ao meu orientador Pedro e à sua esposa Líbia, que me acolheram e foram guias desde o início do projeto “*Da Semente à Xicara*”. Ao coordenador Daniel, pela disponibilidade em responder, nos horários mais improváveis, as dúvidas mais diversas. Aos professores Renan e André, que me mostraram que conteúdos densos e desafiadores também podem ser compreendidos e apreciados. Às professoras Karina e Elise, pelas aulas leves e pelas conversas nos corredores que tornaram a caminhada mais humana. E a todos os técnicos, em especial ao Daniel, pelo auxílio indispensável nos momentos decisivos dos semestres, quando os projetos precisavam, de fato, funcionar.

Estar em uma universidade pública é um privilégio que reconheço com profunda gratidão. Ter acesso a uma educação superior gratuita e de qualidade, fruto do esforço coletivo de uma nação que acredita no poder transformador do conhecimento, é algo que jamais deve ser naturalizado. Minha vivência nesse espaço me mostrou que a universidade é muito mais que um local de aulas: é um território de descobertas, de trocas, de convivência e de construção de futuro. A todos que fazem parte desta instituição, meu sincero agradecimento por permitirem que este sonho se tornasse possível.

Ao Grupo Setta, agradeço a oportunidade de aprendizado e por todo o conhecimento compartilhado. Nesse espaço, pude transformar teoria em prática, ampliar minha visão profissional e enriquecer minha formação com experiências que levarei para toda a vida.

E por último, mas não menos importante, meu agradecimento vai para aqueles que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada, amigos que levo comigo para a vida. Em especial, meu carinho e gratidão ao Troiano, Torugo, Zucco e Breno, que entre tantos outros, marcaram esses longos anos e foram minha família em Patos de Minas.

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de automação para aquários utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT). O sistema é baseado no microcontrolador ESP32, integrado com o protocolo de comunicação MQTT e a plataforma Node-RED, permitindo o monitoramento e controle de parâmetros essenciais para a manutenção de aquários, como temperatura e iluminação. O objetivo principal é automatizar tarefas rotineiras, como o controle de temperatura, além de proporcionar ao usuário uma interface de fácil acesso para monitoramento remoto por meio de uma aplicação web. O projeto implementa sensores e atuadores conectados ao ESP32, que enviam dados em tempo real para um servidor central via MQTT. A plataforma Node-RED é utilizada para criar fluxos de automação e uma interface gráfica interativa que permite ao usuário visualizar os dados e controlar o sistema remotamente. Além disso, foram aplicados conceitos de análise preditiva para prever condições críticas, garantindo a robustez do sistema em situações adversas.

Palavras-chaves: Automação de Aquários; ESP32; Internet das Coisas; MQTT; Node-RED.

ABSTRACT

This thesis proposes the development of an automation system for aquariums using Internet of Things (IoT) technology. The system is based on the ESP32 microcontroller, integrated with the MQTT communication protocol and the Node-RED platform, allowing real-time monitoring and control of essential parameters such as temperature, water level, lighting, and fish feeding. The main objective is to automate routine tasks like feeding and temperature control, while providing users with an intuitive web-based interface for remote monitoring. The project implements sensors and actuators connected to the ESP32, which send real-time data to a central server via MQTT. Node-RED is used to create automation flows and an interactive graphical interface, enabling users to visualize data and control the system remotely. Predictive analysis techniques are also applied to forecast critical conditions, ensuring system robustness in adverse situations.

Keyword: Aquarium automation; ESP32; Internet of Things; MQTT; Node-RED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pinout da placa ESP-WROOM-32.	19
Figura 2 - Tela inicial da Arduino IDE.....	20
Figura 3 - Sensor em formato de sonda.	21
Figura 4 - Sensor DHT11	21
Figura 5 - Relé 4 módulos	22
Figura 6 - Display LCD	23
Figura 7 - Detalhes de um buzzer piezoelétrico.	24
Figura 8 - Fluxo explicativo em Node-RED	25
Figura 9 - Arquitetura do Sistema	27
Figura 10 - Protótipo do Sistema.....	28
Figura 11 - Pinagem com entradas e saídas.....	29
Figura 12 - Vistas da Caixa	32
Figura 13 - Tampa da Caixa	33
Figura 14 - Impressão da Caixa.....	34
Figura 15 - Fixação da caixa em campo	35
Figura 16 - Aplicação Web vista por um navegador em um PC	36
Figura 17 - Aplicação Web acessada por um smartphone.....	37
Figura 18 - Aplicação Web acessada por uma smartTV	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os recursos dos microcontroladores.	18
Tabela 2 - Comparação entre os sensores DS18B20 e DHT11	22
Tabela 3 - Nós usados no Node-RED.	26
Tabela 4 - Custos do circuito de Força	38
Tabela 5 - Custos do sistema de Controle.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla / Abreviação	Significado Completo
3D	Três Dimensões
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (material plástico resistente)
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento)
DHT11	Digital Humidity and Temperature sensor – modelo 11 (Sensor de Temperatura e Umidade)
DS18B20	Digital Sensor 18B20 – sensor digital de temperatura da Dallas
ESP32	Placa microcontroladora da Espressif com Wi-Fi e Bluetooth integrados
IDE	Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IP	Internet Protocol (Protocolo Internet)
LCD	Liquid Crystal Display (Display de Cristal Líquido)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NA	Normalmente Aberto (contato de relé)
NF	Normalmente Fechado (contato de relé)
PC	Personal Computer (Computador Pessoal)
pH	Medida do grau de acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa
PLA	Polylactic Acid (Ácido Polilático – material para impressão 3D)
STL	Stereolithography (formato de arquivo para impressão 3D)
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USB	Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Rede sem Fio)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	Tema do projeto.....	13
1.2.	Problematização.....	13
1.3.	Objetivos.....	14
1.3.1.	Objetivos gerais.....	14
1.3.2.	Objetivos específicos.....	14
1.4.	Justificativas	15
1.5.	Considerações finais	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1.	ESP32	18
3.2.	Arduino IDE	19
3.3.	Sensor de temperatura e Umidade.....	20
3.4.	Módulo Relé de 4 Módulos	22
3.5.	Display LCD.....	23
3.6.	Buzzer.....	24
3.7.	MQTT e Node Red.....	24
4.	DESENVOLVIMENTO.....	27
4.1.	Montagem do Hardware em Bancada	28
4.2.	Integração com o Nod-RED	30
4.3.	Modelagem em 3D da caixa protetora.....	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Funcionabilidade do sistema	35
5.2.	Custo do projeto	38
6.	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o cuidado com animais domésticos experimentou um crescimento notável, refletindo mudanças nos hábitos e estilos de vida das pessoas. Dentro desse contexto, o aquarismo tem se destacado como uma das práticas mais populares, ocupando uma posição de destaque entre os pets mais comuns. Essa prática, que envolve a criação e manutenção de aquários, vem se difundindo amplamente, tanto como um hobby relaxante quanto como uma atividade que melhora a qualidade de vida dos donos [1]

O aquarismo requer uma atenção minuciosa a diversos parâmetros ambientais, como temperatura da água, pH, iluminação e alimentação, que são essenciais para garantir a saúde e o bem-estar dos organismos aquáticos [2]. Entretanto, a manutenção manual desses parâmetros pode ser desafiadora e consumir um tempo significativo, tanto em aquários de grande porte ou que contêm espécies mais sensíveis e exigentes quanto em aquários menores, que por seu menor volume de água, se tornam mais suscetíveis a variações de parâmetros, como concentração de pH e temperatura da água. A necessidade de monitoramento constante e de ajustes frequentes para assegurar condições ideais torna o processo suscetível a erros humanos, podendo tornar a água nociva para os peixes [3].

Com o avanço das tecnologias, a automação desses processos emergiu como uma solução promissora. A Internet das Coisas (IoT), em particular, possibilita a criação de sistemas automatizados que monitoram e controlam os parâmetros do aquário de maneira precisa e contínua, reduzindo a intervenção manual e aumentando a eficiência do gerenciamento [4]. A IoT permite que dispositivos e sensores conectados se comuniquem entre si e com uma interface central, oferecendo dados em tempo real e possibilitando o controle remoto do ambiente aquático [5].

A aplicação web será um componente central desta solução, desenvolvida utilizando Node-RED e MQTT, oferecendo uma interface amigável e acessível que facilitará a interação com o sistema. Por meio dessa interface, o aquarista poderá configurar alertas e visualizar históricos de dados, proporcionando um nível de controle e conveniência. Este projeto visa, portanto, proporcionar uma ferramenta eficaz para aquaristas amadores e profissionais, auxiliando-os na gestão eficiente de seus aquários e promovendo o bem-estar dos organismos aquáticos.

Ao final, espera-se que este sistema simplifique o manejo do aquário, oferecendo uma solução que alie tecnologia de ponta a práticas sustentáveis e eficientes de cuidado animal. O impacto deste projeto pode se estender desde a melhoria da qualidade de vida dos organismos

aquáticos até o fomento da pesquisa científica e do desenvolvimento comercial dentro do setor de aquarismo.

Neste contexto, este projeto de final de curso realiza o desenvolvimento de um sistema de automação para aquários baseado no microcontrolador ESP32, um dispositivo altamente capacitado, conhecido por suas habilidades de processamento e conectividade, especialmente em aplicações de IoT. O sistema inclui uma série de sensores e atuadores que, conectados ao ESP32, monitoraram e controlam variáveis críticas como temperatura, umidade, iluminação e status da bomba. O controle desses dispositivos é realizado por meio de uma aplicação web intuitiva, que permite ao usuário monitorar o aquário em tempo real e ajustar os parâmetros conforme necessário.

1.1. Tema do projeto

Este trabalho faz a demonstração prática da Internet das Coisas (IoT) aplicada à automação doméstica, com foco no desenvolvimento de um sistema de automação para aquários inteligentes, utilizando a tecnologia ESP32. O sistema permite o controle automatizado e monitoramento em tempo real de parâmetros críticos, como temperatura e iluminação, através de uma aplicação web. Essa abordagem visa oferecer um gerenciamento eficiente e acessível dos dispositivos conectados ao aquário, melhorando as condições ambientais para os organismos aquáticos e facilitando a manutenção por parte dos usuários.

1.2. Problematização

A população urbana no Brasil atingiu mais de 87% dos brasileiros, conforme relatado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [6]. Esse crescimento urbano tem trazido diversas consequências, entre elas o aumento dos níveis de estresse e depressão entre os habitantes das grandes cidades. Em resposta a esses desafios, técnicas como a zooterapia têm ganhado destaque. A zooterapia, que promove o contato com elementos naturais e animais, visa reduzir os níveis de estresse e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Dentro desse contexto, a zooterapia com animais aquáticos surge como uma alternativa particularmente adequada para a vida em ambientes urbanos restritos, como apartamentos em grandes centros [7]. Aquários com peixes e outros organismos aquáticos requerem menos espaço e manutenção do que animais de estimação tradicionais, como cães e gatos. De acordo com a pesquisa "Paixão por Bichos de Estimação", realizada pelo IBOPE [8], 14% dos brasileiros que já abandonaram um animal de estimação o fizeram por motivos como falta de tempo para cuidar adequadamente, comportamento inadequado do animal e o custo elevado.

No entanto, mesmo com essas vantagens, muitos brasileiros ainda enfrentam dificuldades em manter um aquário devido à falta de tempo e ao custo associado ao cuidado adequado.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a criação de um sistema de automação para aquários inteligentes, que permitirá aos usuários monitorar e controlar os principais parâmetros de seus aquários em tempo real por meio de uma aplicação web. O sistema será baseado em hardwares de baixo custo, como o microcontrolador ESP32, com o objetivo de tornar essa solução acessível a uma ampla gama de usuários. Ao facilitar o cuidado com aquários, o projeto visa não apenas melhorar a qualidade de vida dos animais aquáticos, mas também reduzir os níveis de estresse e a incidência de abandono, promovendo uma interação mais sustentável e prazerosa entre os humanos e o ambiente natural.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema automatizado para aquários inteligentes, que conta com sensores e atuadores em campo controlados pelo microcontrolador ESP32. O ESP32 se comunicará com uma aplicação web, permitindo o monitoramento e o controle em tempo real dos parâmetros críticos do aquário. Este sistema busca facilitar a gestão do ambiente aquático, garantindo condições ideais para a saúde dos organismos, enquanto oferece uma solução acessível e eficiente para os usuários.

1.3.2. Objetivos específicos

Desenvolver um sistema de automação local para monitoramento do aquário, utilizando o ESP32 como microcontrolador central. Esse sistema busca monitorar parâmetros essenciais, como temperatura, umidade do ar e funcionamento da bomba e aquecedor. Além disso, integrar sensores e atuadores que possibilitarão a coleta de dados em tempo real e a execução de ações automatizadas, garantindo que o sistema opere de forma autônoma e segura, mesmo na ausência de conexão com a internet.

Criar uma aplicação web acessível via navegador, que permitirá o controle e a atuação sobre o aquário desde que o dispositivo esteja conectado à mesma rede local. Essa aplicação será hospedada no próprio ESP32 e oferecerá uma interface intuitiva e responsiva, facilitando o acesso e o gerenciamento dos parâmetros do aquário em tempo real, possibilitando ao usuário ajustar condições como temperatura e iluminação diretamente pela interface.

1.4. Justificativas

A manutenção de aquários é uma atividade que exige atenção constante para garantir a saúde e o bem-estar dos organismos aquáticos. Aquaristas, sejam eles amadores ou profissionais, precisam monitorar diversos parâmetros, como temperatura, pH, iluminação e alimentação, de forma contínua. No entanto, o controle manual desses parâmetros apresenta diversos desafios, como a dificuldade em realizar ajustes precisos e a necessidade de vigilância frequente, o que pode ser inviável, especialmente em situações em que o aquarista não está presente.

Outro ponto crítico é a limitação das soluções existentes no mercado, que muitas vezes são caras e de difícil acesso para pequenos aquaristas. As opções de automação disponíveis, quando existentes, possuem custos elevados que excluem grande parte dos aquaristas.

Diante desse cenário, surge a necessidade de desenvolver uma solução integrada e acessível que permitirá a automação e o monitoramento dos parâmetros essenciais de aquários de forma remota, utilizando tecnologias modernas e acessíveis como o ESP32 e a Internet das Coisas (IoT). Essa solução deve ser capaz de oferecer uma interface web intuitiva, permitindo que o usuário controle e monitore o aquário de qualquer lugar, aumentando a conveniência e reduzindo os riscos associados à manutenção inadequada.

1.5. Considerações finais

Diante dos desafios enfrentados na manutenção adequada de aquários, o desenvolvimento de um sistema de automação controlado por uma aplicação web, utilizando o ESP32 e tecnologias de Internet das Coisas (IoT), surge como uma solução inovadora e prática.

Este projeto não apenas busca melhorar a eficiência e a precisão no monitoramento dos parâmetros essenciais do aquário, mas também facilitar o controle remoto, proporcionando aos aquaristas uma ferramenta poderosa para assegurar o bem-estar dos organismos aquáticos.

A integração entre automação local e remoto via aplicação web demonstra o potencial de modernização do aquarismo, abrindo caminho para futuras inovações e adaptações em diferentes contextos e escalas. Este sistema permite uma gestão mais conveniente e eficaz dos aquários, contribuindo para a evolução das práticas de cuidado com animais aquáticos e promovendo uma nova abordagem no uso de tecnologias avançadas no ambiente doméstico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A automação de sistemas de aquários utilizando tecnologias da Internet das Coisas (IoT) tem se tornado um tema de pesquisa crescente, visando a criação de sistemas inteligentes que possam monitorar e controlar as condições ambientais de aquários de forma eficiente e autônoma. Nesta seção, serão discutidas as principais abordagens e desenvolvimentos recentes na automação de aquários, com foco na utilização do microcontrolador ESP32, dos protocolos MQTT e Node-RED.

Diversos estudos têm explorado o uso de IoT para automatizar o monitoramento de parâmetros críticos em aquários, como temperatura, pH, nível de água e intensidade de luz. Um exemplo significativo é o trabalho de Ramaiah e colaboradores (2020), que propôs um sistema de monitoramento para aquários utilizando sensores conectados a um Arduino Uno. Este sistema automatiza a coleta de dados e notifica os usuários via smartphone em emergências, como variações extremas de temperatura ou níveis inadequados de água [9]. O sistema demonstrou a eficácia da automação para reduzir a necessidade de intervenção manual constante, mas ainda depende de ações reativas, ao invés de preventivas.

O avanço na aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina em sistemas de aquários automatizados tem proporcionado melhorias significativas na capacidade de prever e responder a condições críticas. Abdurohman, Putrada e Deris (2022) [10] desenvolveram um sistema de controle de aquário robusto, utilizando um algoritmo de regressão de árvore de decisão para prever alterações críticas nas condições ambientais, como aumentos perigosos na temperatura da água. Este sistema se destaca por enviar automaticamente alertas aos usuários quando condições críticas são detectadas, sem a necessidade de monitoramento constante por parte do usuário, demonstrando um avanço significativo em termos de automação e resposta a eventos críticos.

A integração de IoT com sistemas de aquário inteligente tem sido explorada para automatizar tarefas como alimentação de peixes e controle de iluminação. Hardyanto, Ciptadi e Asmara (2019) [11] descreveram o desenvolvimento de um sistema de aquário inteligente que integra sensores e atuadores controlados por um microcontrolador, permitindo que os usuários monitorem e controlem remotamente as condições do aquário por meio de uma interface web. Este trabalho enfatiza a importância de interfaces de usuário intuitivas e acessíveis, que permitam o controle eficaz do sistema de qualquer lugar, ampliando as possibilidades de gerenciamento remoto de aquários.

Apesar dos avanços, ainda existem desafios significativos na automação de aquários utilizando IoT. Um dos principais desafios é a robustez e a confiabilidade do sistema em

condições adversas, como falhas de comunicação ou energia. Além disso, a maioria dos sistemas atuais ainda requer algum nível de intervenção manual, seja para ajustes finos ou manutenção, o que limita o potencial de automação total. Nesse sentido, o uso de algoritmos preditivos e a integração de tecnologias emergentes são fundamentais.

O estudo da arte revela que a automação de aquários baseada em IoT está em um estágio avançado de desenvolvimento, com várias abordagens promissoras que já demonstraram eficácia em aplicações práticas. No entanto, para alcançar um nível de automação que seja verdadeiramente autônomo e resiliente, é necessário continuar explorando a integração de algoritmos de aprendizado de máquina e melhorias na arquitetura de sistemas IoT. O projeto proposto visa construir sobre esses avanços, utilizando o ESP32 em conjunto com MQTT e Node-RED para o desenvolvimento de um sistema de automação de aquário que seja robusto, eficiente e fácil de usar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta Seção será discutida a escolha dos materiais necessários para realização deste projeto, os hardwares e softwares.

3.1. ESP32

O núcleo de um sistema de automação é seu controlador. Para este projeto foi escolhido o micro controlador ESP32 desenvolvido pela Espressif, que está muito difundido em soluções IoT. As principais razões desta escolha são: (i) seu processador de 32 bits com uma frequência de clock de 160 MHz que chega a ser 10 vezes mais rápido que um Arduino; (ii) ter Wi-fi integrado, o que diminuirá um componente para fazer a integração com a rede; (iii) poder operar em temperaturas extremas, de -40°C a 125°C, o que permite seu uso tanto como sistema autônomo quanto como dispositivo complementar em redes mais amplas. O ESP32 se diferencia das demais placas no mercado por oferecer maior número de GPIOs, ADCs, além de contar com 2 DACs, (tabela 1).

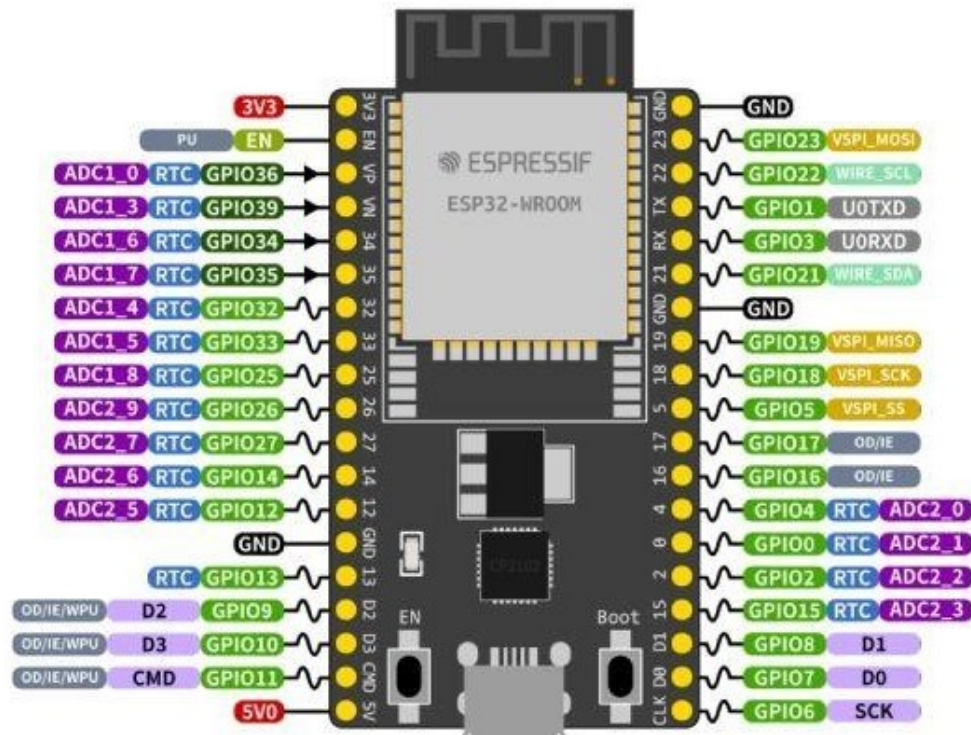
Tabela 1 - Comparação entre os recursos dos microcontroladores.

	ESP32	ARDUINO UNO
Cores	2	1
Arquitetura	32 bits	8 bits
Clock	160Mhz	16Mhz
WIFI	Sim	Não
Bluetooth	Sim	Não
RAM	512KB	2 KB
FLASH	16Mb	32KB
GPIO	36	14
INTERFACES	SPI/I2C/UART/12S/CAN	SPI/I2C/UART
ADC	18	6
DAC	2	0

Fonte: Próprio autor com dados de Adafruit [12]

A placa ESP-WROOM-32, que contém o módulo ESP32, inclui 36 pinos que proporcionam diversas funcionalidades, como interfaces GPIO, UART, I2C, sensores de toque, sensor de efeito Hall, conversores AD e DA, entre outras funções, conforme Figura 1. Essas características fazem do ESP32 uma escolha eficiente para a criação de sistemas automatizados de aquários, garantindo um controle preciso e uma comunicação ágil e integrada com uma aplicação web.

Figura 1 - Pinout da placa ESP-WROOM-32.

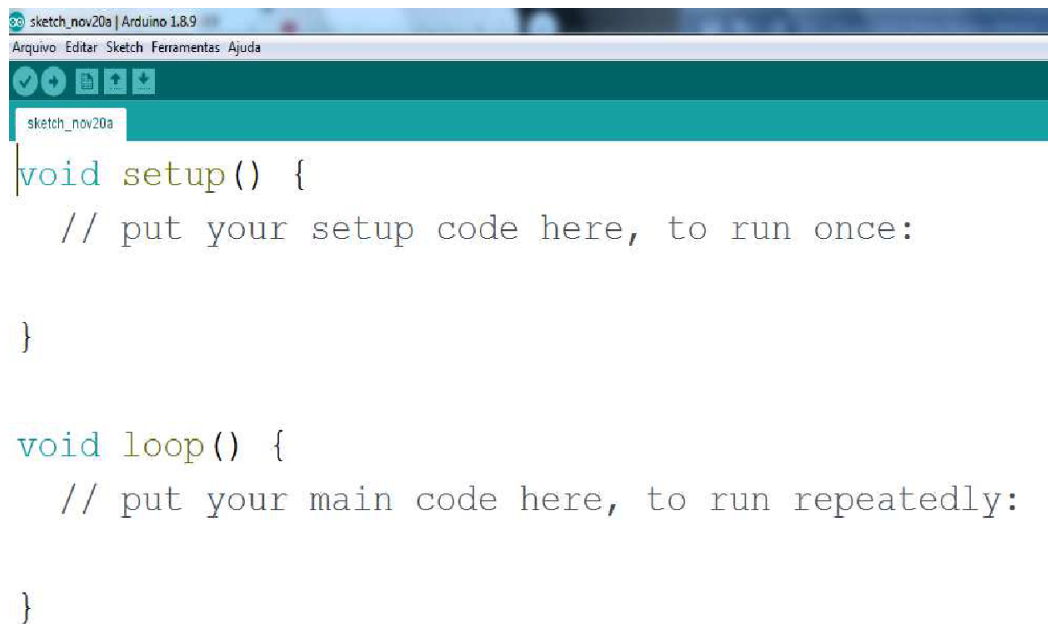


Fonte: [13]

3.2. Arduino IDE

Para a programação do ESP32, foi utilizado a Arduino Integrated Development Environment (IDE) é uma plataforma de desenvolvimento amplamente utilizada para programar microcontroladores, como o ESP32, que será utilizado no projeto de automação para aquários. A Arduino IDE proporciona uma interface acessível e intuitiva, facilitando o desenvolvimento de código em C/C++ e a integração com bibliotecas que estendem suas funcionalidades, essenciais para a automação de sistemas IoT. Além de oferecer um editor de código com realce de sintaxe, a IDE inclui ferramentas como o monitor serial, útil para depuração, e o compilador, que traduz o código para um formato executável pelo microcontrolador.

Originalmente projetada para a linha Arduino, a IDE suporta dispositivos como o ESP32 por meio de pacotes adicionais, permitindo o uso de funcionalidades avançadas, como Wi-Fi e controle de múltiplos GPIOs. A escolha da Arduino IDE para este projeto se justifica pela sua simplicidade, interface amigável, extensa documentação e flexibilidade, tornando-a ideal para o desenvolvimento de um sistema que monitorará e controlará parâmetros críticos de um aquário em tempo real. A combinação dessas características faz da Arduino IDE uma ferramenta essencial no desenvolvimento de projetos de automação como o proposto, na Figura 2, podemos ver a tela inicial do Arduino IDE.

Figura 2 - Tela inicial da Arduino IDE.

Fonte: Próprio autor.

3.3. Sensor de temperatura e Umidade

Conectado ao Arduino, temos os sensores de temperatura e umidade. O DS18B20 é um sensor de temperatura digital amplamente utilizado devido à sua alta precisão e durabilidade, e principalmente por seu encapsulamento de sonda como pode ser observado na Figura 3, que permite seu uso submerso em líquidos. Capaz de operar em uma faixa de -55°C a 125°C. Ele utiliza o protocolo 1-Wire, que permite a comunicação de múltiplos sensores em um único pino do microcontrolador, tornando-o ideal para ambientes onde múltiplas medições serão necessárias.

No sistema de automação do aquário, o DS18B20 será empregado especificamente para monitorar a temperatura da água, assegurando que ela permaneça dentro dos parâmetros ideais para a saúde dos peixes e plantas. As leituras serão enviadas ao ESP32, que as transmitirá para a aplicação web, permitindo ao usuário monitorar a temperatura da água em tempo real e receber alertas caso ocorra qualquer variação indesejada.

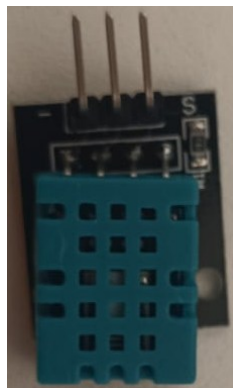
Figura 3 - Sensor em formato de sonda.



Fonte: [14]

O DHT11, por sua vez, é um sensor de temperatura e umidade mais avançado, conhecido por sua maior precisão e por suportar uma faixa de temperaturas de -40°C a 80°C . No projeto, o DHT11 será utilizado para monitorar a temperatura ambiente ao redor do aquário, garantindo que as condições externas estejam adequadas para o bom funcionamento do sistema, seu formato compacto (Figura 4) permite que ele fique dentro da caixa e possa verificar possíveis erros no sensor de temperatura do aquário.

Figura 4 - Sensor DHT11



Fonte: Próprio autor

Assim como o DS18B20, o DHT11 será integrado ao ESP32, permitindo que as condições ambientais sejam monitoradas e ajustadas conforme necessário, com as informações sendo acessíveis em tempo real através da aplicação web.

As configurações dos dois sensores são muito parecidas (tabela 2), a principal diferença, está no formato, enquanto o DHT11 é pequeno e perfeito para pequenas placas. O DS18B20 por outro lado tem um encapsulamento em formato de sonda que permite que seja usado dentro do aquário, sendo exposto á ambientes mais desgastantes.

Tabela 2 - Comparação entre os sensores DS18B20 e DHT11

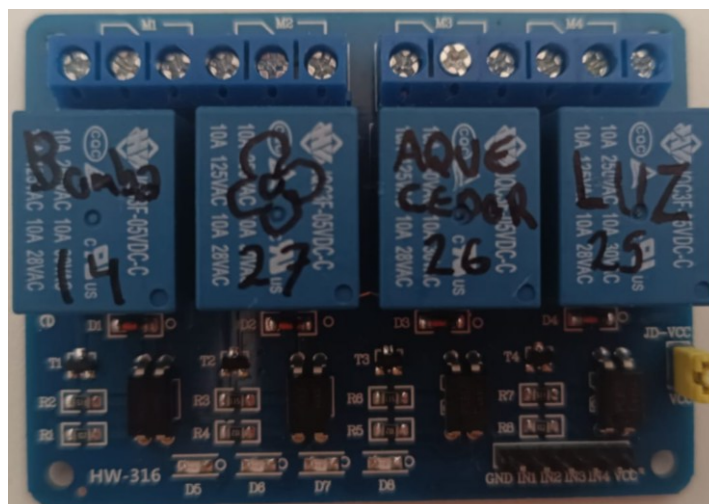
	DS18B20	DHT11
Custo	Baixo	Baixo
Energização	3 a 5V	3 a 5V
Corrente Máxima	1,5 mA	2,5 mA
Faixa de Umidade Ideal	Não mede	20 a 95%
Faixa de Temperatura Ideal	-55 a 155°C	-40 a 80°C
Tamanho	6 x 50 x 6 (mm)	15,1 x 25 x 7,7 (mm)

Fonte: Próprio autor com dados de Adafruit [12]

3.4. Módulo Relé de 4 Módulos

Além dos sensores, precisaremos controlar o acionamento de alguns equipamentos, e para isso, usaremos relés. Um relé é um dispositivo que, por meio de um circuito de baixa potência, pode controlar outro circuito. No caso dos relés eletromecânicos comumente utilizados na eletrônica, um circuito de 5V aciona um eletroímã para abrir ou fechar o contato de um outro circuito.

Seu uso é fundamental para os dispositivos IoT, onde um controlador de baixa tensão precisa controlar componentes em 127V ou 220V. Assim, como os dois circuitos são separados pelo eletroímã, a chance de uma sobretensão no ESP32 é muito pequena. Um relé é alimentado como um sensor 3 fios, alimentação, terra e dados.

Figura 5 - Relé 4 módulos

Fonte: Próprio autor

Foi utilizado um módulo de 4 canais (Figura 5) para evitar ter que alimentar 4 relés. Assim, é necessário apenas um fio de alimentação e um fio para o aterramento além dos 4 pinos

digitais, um para cada relé individual. O projeto conta com 3 componentes em 127V, mantendo uma porta para possíveis defeitos.

Os quatro canais estão distribuídos conforme descrito abaixo:

- Relé 1: Utilizado para bomba de filtragem (Filtro Externo Para Aquários Hang On Hbl-801 500l/h Mini Canister).
- Relé 2: não utilizado.
- Relé 3: Utilizado para o aquecedor termostato (Roxin linha Q3 50W).
- Relé 4: Iluminação LED (Marca genérica, 12V, 2W).

3.5. Display LCD

Foi escolhido o uso de um display para garantir que o usuário possa receber informações mesmo sem acessar o *dashboard online*. Para esse projeto, foi escolhido um modelo simples apenas para exibir alarmes e a temperatura da água, este modelo possui duas linhas de 16 caracteres cada (Figura 6), e conta com um conversor I2C para economizar o número de pinos necessários para controlar o display.

Figura 6 - Display LCD



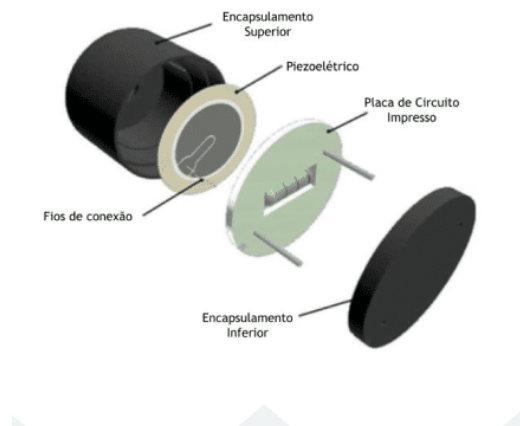
Fonte: Próprio autor

O display conta com 4 pinos: um de alimentação em 5V, um para aterramento, além de dois pinos típicos da comunicação I2C. Dentre estes pinos de comunicação I2C, a SDA (Serial Data) é a linha de dados, onde os dados são transmitidos e recebidos entre dispositivos; e a SCL (Serial Clock) é a linha de clock, que sincroniza a transferência de dados, fornecendo pulsos de clock para garantir que os dispositivos se comuniquem no mesmo ritmo.

3.6. Buzzer

A função de um buzzer é realizar um alarme sonoro. Para a eletrônica, o modelo mais comum é o piezoelétrico (Figura 7) que é acionado por um circuito eletrônico oscilante, no caso o microcontrolador.

Figura 7 - Detalhes de um buzzer piezoelétrico.



Fonte: [15]

Neste sistema, o buzzer informará quando a temperatura do aquário estiver fora do limiar, permitindo que o usuário atue antes de danos significativos acontecerem.

3.7. MQTT e Node Red

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação leve e eficiente, projetado para a troca de mensagens entre dispositivos em redes com largura de banda limitada ou com alta latência. É amplamente utilizado em aplicações de IoT devido à sua capacidade de transmitir dados de forma confiável e com baixo consumo de recursos.

No projeto de automação para aquários, o MQTT desempenha um papel fundamental como o meio de comunicação entre o microcontrolador ESP32 e a aplicação web desenvolvida com Node-RED. O protocolo permite que o ESP32 publique dados dos sensores de temperatura, para um broker MQTT, que por sua vez distribui essas informações para os assinantes interessados. A aplicação web, conectada ao broker MQTT, pode então visualizar e processar esses dados em tempo real. O broker escolhido foi o Eclipse Mosquitto, por ser uma plataforma aberta e gratuita, que se enquadra em um projeto de pequena escala.

O MQTT utiliza um modelo de publicação/inscrição (publish/subscribe), onde o ESP32 publica mensagens em tópicos específicos e a aplicação web subscreve a esses tópicos para receber as atualizações. Este modelo é eficiente para o gerenciamento de dados em tempo real

e permite a implementação de funcionalidades como alertas automáticos e controle remoto de dispositivos.

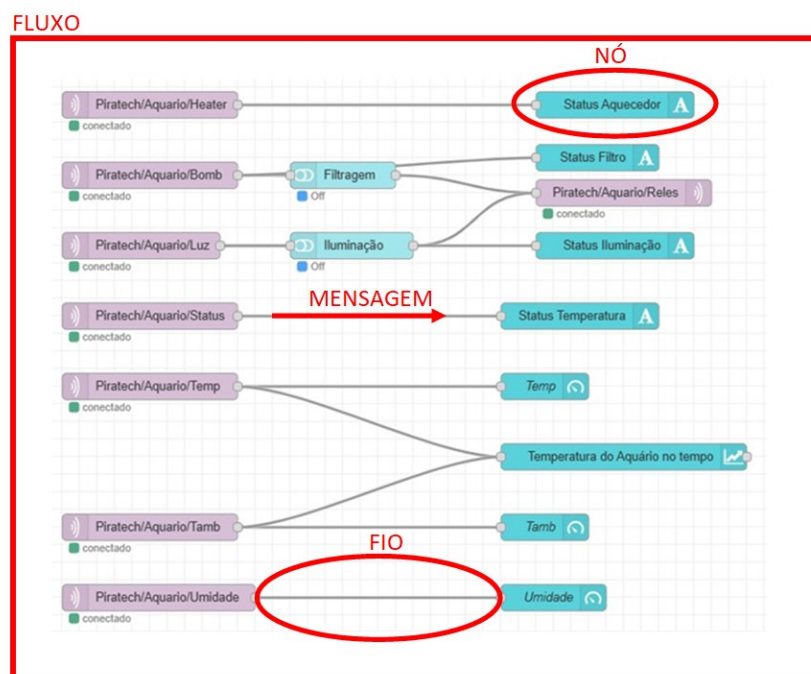
A escolha do MQTT para este projeto se deve à sua leveza, escalabilidade e confiabilidade, que são essenciais para a comunicação entre os diferentes componentes do sistema de automação do aquário. O protocolo garante que os dados sejam transmitidos de forma eficaz e que o sistema possa operar com baixa latência e alta eficiência, assegurando o controle e monitoramento contínuo das condições do aquário.

O Node-RED é programado com low-code onde é necessário arrastar, soltar e ligar blocos através de 4 conceitos:

- **Fluxo:** É uma coleção de nós conectados para realizar uma função do código.
- **Mensagem:** é a informação que circula entre *dashboard* e microcontrolador, geralmente são chamadas de msg.payload.
- **Nó:** é um bloco com uma função específica para tratar o dado.
- **Fio:** uma conexão entre nós para gerar o Fluxo.

A seguir, temos o sistema desenvolvido com os conceitos exemplificados na Figura 8.


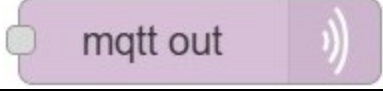
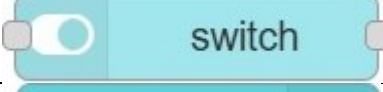

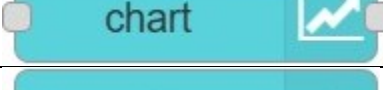

Figura 8- Fluxo explicativo em Node-RED



Fonte: Próprio autor

Além disso, foi adicionado a paleta *DASHBOARD 2*, que permite a visualização dos dados em um *dashboard*, acessando um IP da rede, os nós utilizados estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Nós usados no Node-RED.

NÓ	DESCRIÇÃO
	Conecta-se a um broker MQTT e assina mensagens do tópico especificado.
	Conecta-se a um broker MQTT e publica mensagens.
	Adiciona um interruptor que quanto gera uma msg.payload com valores específicos ao ser ligado ou desligado.
	Exibe um campo de texto não editável no <i>dashboard</i> , recebe e exime uma msg.payload para ser exibida.
	Cria um gráfico de linha com os valores das mensagens recebidas no tempo.
	Cria um gráfico de gauge com os valores das mensagens recebidas em uma escala definida.

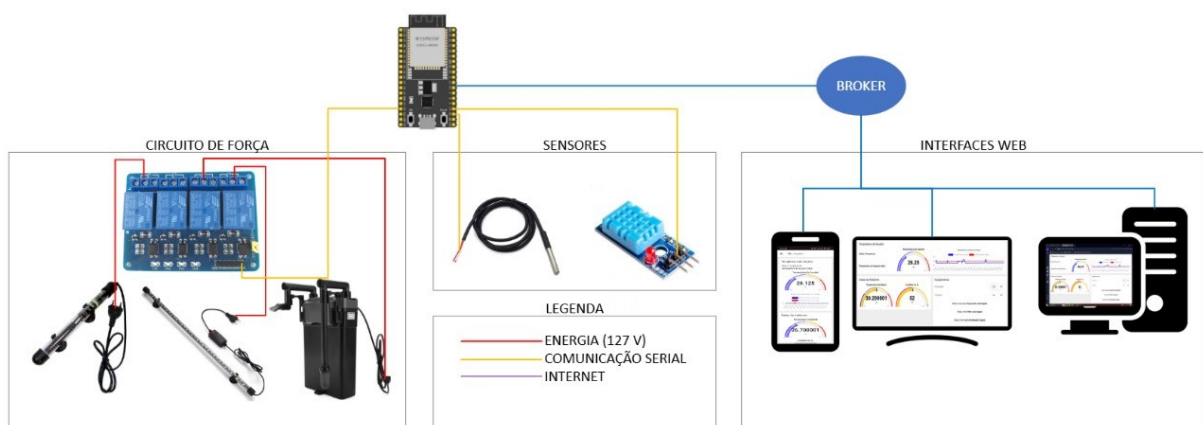
Fonte: Próprio autor

4. DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta, de forma sequencial, todas as etapas de desenvolvimento do sistema proposto, desde os primeiros testes realizados em bancada até a instalação final no aquário real. Inicialmente, são descritos os experimentos locais com o microcontrolador ESP32, incluindo a leitura de sensores e o acionamento de relés com visualização por meio de display de LED. Em seguida, aborda-se a integração do sistema com a plataforma Node-RED e o protocolo MQTT, permitindo a supervisão remota em tempo real por meio de interface web conforme a arquitetura do sistema descrita na Figura 9.

O capítulo também detalha o projeto e a construção da caixa de proteção dos componentes, feita em impressão 3D com separação entre os circuitos de potência e controle. Por fim, são descritos os procedimentos de instalação no ambiente definitivo, os testes em operação contínua, os ajustes realizados e as validações finais que comprovaram a funcionalidade e a confiabilidade do sistema.

Figura 9 - Arquitetura do Sistema



Fonte: Próprio autor

O sistema é composto por três partes. A primeira etapa é o circuito de força, onde os equipamentos estão operando em 127V, é necessário separá-lo do restante do sistema para evitar que um curto-circuito entre o circuito de força (127V) e o de controle (5 ou 3,3V) aconteça.

A segunda etapa, é composta pelo circuito de controle, onde os sensores e o controlar estão, sua função é a aquisição e processamento de dados.

Já a última etapa, é a interface WEB, onde o usuário, através do *dashboard*, pode ter acesso aos dados aquisitados pelo ESP32 e controle do circuito de força.

4.1. Montagem do Hardware em Bancada

A primeira etapa prática do desenvolvimento do sistema de automação para aquários consistiu na validação da compatibilidade entre os sensores escolhidos e o microcontrolador ESP32, antes da integração com plataformas de comunicação como o Node-RED ou MQTT.

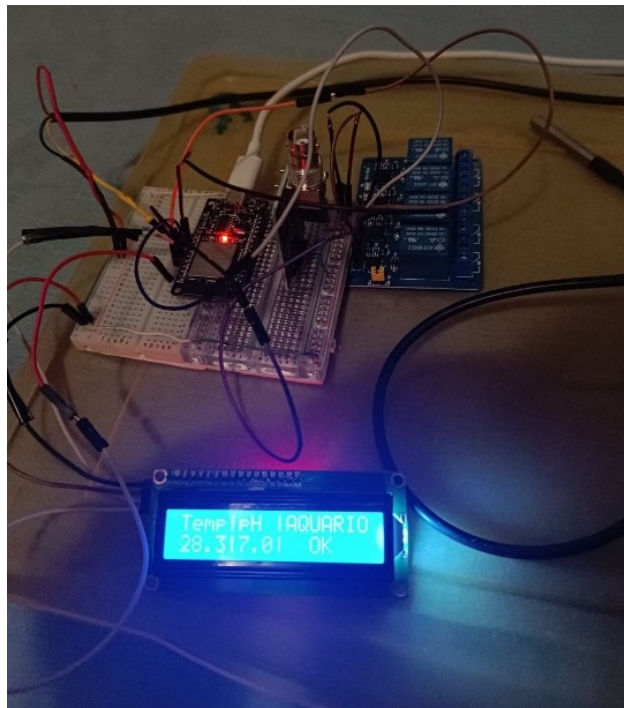
Nessa fase inicial, foi desenvolvido um código básico em C++ na IDE Arduino, com o objetivo de testar a leitura dos sensores e o acionamento dos atuadores, utilizando um display de LED de sete segmentos e LEDs indicadores como saída visual direta.

Para isso, foram conectados ao ESP32 os seguintes componentes:

- Sensor de temperatura DS18B20;
- Sensor de temperatura e umidade DHT11;
- Buzzer;
- Display de 7 segmentos (para exibir leitura simplificada de temperatura e status do aquário);

Além da leitura dos sensores, o ESP32 também foi configurado para acionar os relés responsáveis pelo controle da bomba, iluminação e aquecedor. As saídas digitais do microcontrolador foram ligadas a módulos relé, simulando o acionamento dos dispositivos reais, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Protótipo do Sistema



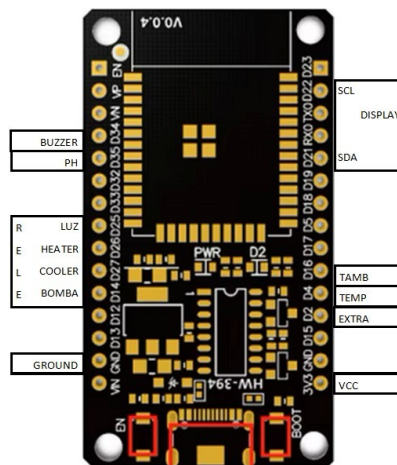
Fonte: Próprio autor

Para aumentar a segurança do sistema, os relés foram configurados da seguinte forma:

- A bomba de circulação e o aquecedor foram conectados a contatos normalmente fechados (NF). Assim, em caso de falha no ESP32 ou corte de alimentação da lógica de controle, esses dispositivos continuariam ligados, garantindo a manutenção dos parâmetros essenciais;
- A iluminação foi conectada a um contato normalmente aberto (NA), de modo que, em caso de falha, o sistema a desligasse automaticamente. Isso evita que os peixes sejam submetidos a iluminação contínua, o que pode causar estresse.

As portas do controlador foram escolhidas respeitando as funções necessárias (como SCL e SDA), mas também separando para evitar que os contatos se encostassem, sua escolha pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 - Pinagem com entradas e saídas



Fonte: Próprio autor

O código inicial foi escrito com foco na leitura cíclica dos sensores e exibição dos valores obtidos diretamente no display, sem uso de rede, broker MQTT ou interface web. Durante os testes iniciais com o ESP32 foram utilizadas bibliotecas como DallasTemperature e OneWire, para a leitura do sensor de temperatura DS18B20. O uso dessas bibliotecas facilitou a implementação da comunicação digital e reduziu a complexidade do código, ao mesmo tempo em que garantiu estabilidade nas leituras.

Para a construção do código, foi levado em consideração a temperatura, de acordo com a fauna aquática desejada, foram escolhidas as temperaturas mínima e máxima, respectivamente 24°C e 30°C, os ciclos do controlador então verifica se a temperatura está entre os parâmetro, caso estivesse acima ou abaixo, gera um alarme, e, em caso de temperatura alta, atua o relé do aquecedor para desliga-lo.

Além disso, optou-se pela organização do código em funções modulares, como por exemplo lerTemperatura() e displayLed(). Essa estrutura permitiu uma divisão clara das

responsabilidades do programa, favorecendo a leitura, manutenção e futuras modificações. Essa abordagem se mostrou vantajosa na fase de testes e contribuiu para a escalabilidade do sistema nas etapas seguintes do projeto.

4.2. Integração com o Nod-RED

Com os testes locais validados, a etapa seguinte consistiu na implementação de uma interface web utilizando o Node-RED, com comunicação baseada no protocolo MQTT. Essa evolução permitiu transformar o sistema em uma aplicação IoT funcional, com supervisão remota em tempo real e controle dos atuadores via navegador.

O broker MQTT utilizado foi o Mosquitto, rodando em uma máquina local na mesma rede do ESP32. O Node-RED foi configurado como cliente MQTT, recebendo os dados dos sensores e publicando comandos de controle por meio de tópicos organizados na seguinte estrutura:

- Piratech/Aquario/Temp: temperatura da água
- Piratech/Aquario/Tamb: temperatura ambiente
- Piratech/Aquario/Umidade: umidade do ambiente
- Piratech/Aquario/Bomb: controle da bomba
- Piratech/Aquario/Luz: controle da iluminação
- Piratech/Aquario/Heater: controle do aquecedor
- Piratech/Aquario/Reles: envio de comandos unificados

A interface foi construída com elementos visuais do Node-RED *Dashboard*, incluindo:

- Botões liga/desliga para bomba e iluminação
- Indicadores de status dos relés
- Medidores para temperatura da água, temperatura ambiente e umidade
- Gráfico de linha com histórico da temperatura da água

O fluxo criado utilizou nós MQTT-in para assinar os tópicos enviados pelo ESP32 e nós MQTT-out para enviar comandos. Toda a lógica foi organizada para garantir resposta rápida e evitar conflitos, mantendo os dados atualizados em tempo real.

Essa evolução tornou o sistema mais acessível, permitindo o controle por qualquer dispositivo com acesso à rede local, e estabeleceu as bases para um sistema completo de automação com supervisão remota. A plataforma Node-RED se mostrou adequada pela facilidade de visualização, integração com MQTT e flexibilidade de customização da interface.

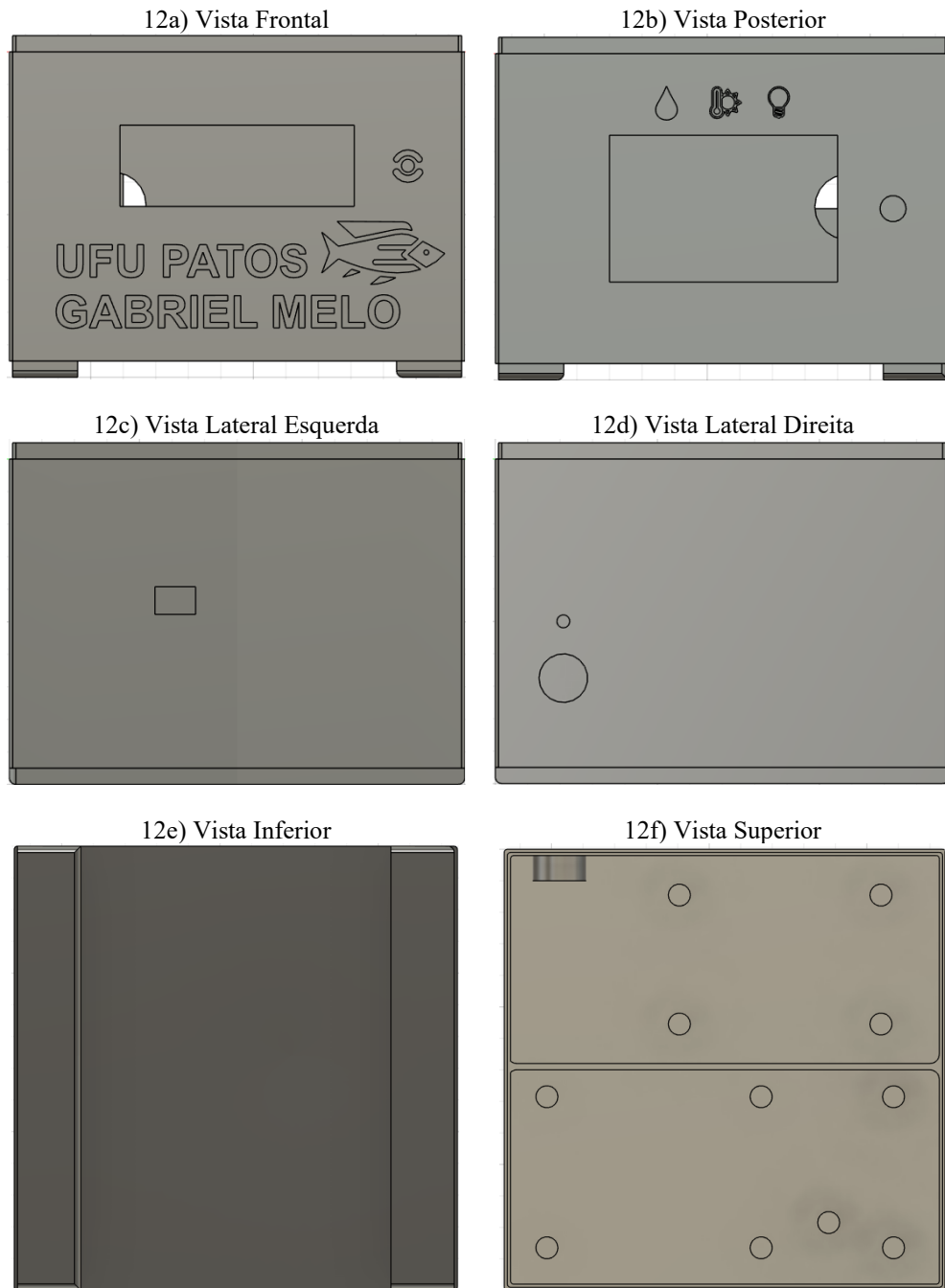
4.3. Modelagem em 3D da caixa protetora

Com a lógica de controle validada e a comunicação remota implementada, foi necessário projetar uma caixa para acomodar os componentes do sistema, de forma segura e adequada ao ambiente onde seria instalada, próximo ao aquário.

O projeto da caixa foi desenvolvido em Fusion 360, considerando tanto os aspectos funcionais quanto os riscos elétricos e ambientais. A estrutura foi desenhada com duas regiões separadas internamente: uma destinada à parte de potência (relé de 127V) com abertura para tomadas da bomba, do aquecedor e da luminária e outra ao circuito de controle (ESP32 e sensores, operando em 5V) com abertura para um interruptor de liga/desliga, display de LCD e instrumentos. Essa separação física foi projetada para reduzir o risco de interferência e aumentar a segurança do sistema em caso de curto-circuito, as vistas da caixa podem ser vistas na Figura 12.

Outros pontos considerados no design foram:

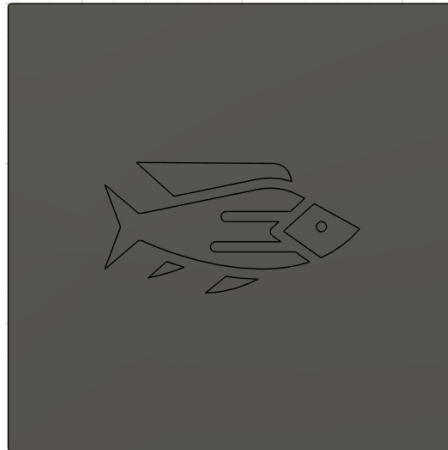
- A posição do sistema próximo ao aquário, exigindo resistência a respingos de água e umidade relativa elevada, além de uma elevação para diminuir a superfície de contato com a superfície do móvel, evitando possível acúmulo de água;

Figura 12 - Vistas da Caixa

Fonte: Próprio autor

- A fixação dos módulos em suportes internos impressos junto à estrutura, garantindo estabilidade dos componentes;
- Entradas e saídas para cabos de alimentação e sensores com furos técnicos posicionados estrategicamente;
- Tampa com encaixe (Figura 13), facilitando o acesso à parte interna para manutenção ou atualização de hardware.

Figura 13 - Tampa da Caixa



Fonte: Próprio autor

O projeto final foi exportado em formato STL e impresso em plástico PLA, com infill reforçado para maior rigidez. Embora o PLA não seja o material mais indicado para locais úmidos, a escolha se justificou pelo custo, pela facilidade de impressão e pela baixa exposição direta à água, uma vez que a caixa foi instalada em local protegido e elevado, outro ponto de cuidado foram aberturas para resfriamento, mas como o ESP32 dissipa pouco calor, foi considerado que o risco de entrar água por essas aberturas seria maior que o ganho por resfriamento.

Com a montagem concluída, todos os módulos foram fixados na caixa, e o sistema passou a operar de forma mais estável, protegendo os componentes contra contato acidental, poeira e condições ambientais do entorno do aquário.

Na Figura 14 pode-se observar o resultado da impressão, alguns acabamentos foram necessários para retirar impressões de suportes e rebarbas, mas o resultado inicial já foi satisfatório.

Figura 14 - Impressão da Caixa

14a) Vista Frontal



14b) Vista Posterior



14c) Vista Lateral Esquerda



14d) Vista Lateral Direita



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Funcionabilidade do sistema

Com a montagem da caixa concluída e todos os testes funcionais validados, o sistema foi instalado no ambiente final de uso: um aquário doméstico de médio porte. A instalação teve como objetivo avaliar o desempenho do sistema em condições reais, com os sensores submersos e os atuadores acionando os dispositivos conectados ao aquário, o sensor de temperatura sendo colocado no fundo do aquário.

A caixa foi fixada ao lado do aquário, em local protegido contra respingos diretos, mas exposta à umidade ambiente (Figura 15). O sensor de temperatura DS18B20 foi posicionado no interior do aquário, imerso em ponto estratégico para garantir leituras consistentes. Já o sensor DHT11, responsável pela temperatura e umidade do ambiente, foi posicionado na parte interna da caixa, voltado para o meio externo ao aquário.

Os dispositivos de carga (bomba, aquecedor e iluminação) foram conectados às respectivas tomadas traseiras da caixa, com acionamento comandado por relés conforme os valores dos sensores ou por controle manual via interface Node-RED.

Durante os primeiros dias de operação, foram monitorados:

- A estabilidade da comunicação MQTT com o ESP32;
- A resposta dos relés aos comandos recebidos;
- A atualização contínua dos dados no painel do Node-RED;
- O comportamento dos peixes sob variação de iluminação e temperatura;
- O tempo de resposta entre leitura, transmissão e reação dos atuadores.

Figura 15 - Fixação da caixa em campo

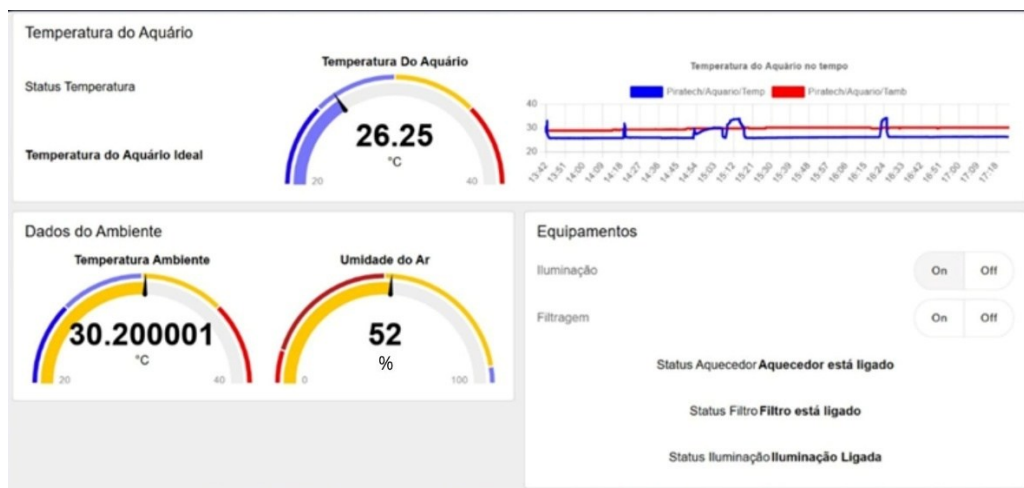


Fonte: Próprio autor

Ao longo da validação, o sistema se manteve estável, com respostas rápidas e coerentes. A bomba e o aquecedor operaram de forma automática conforme a lógica pré-definida, enquanto a iluminação pôde ser controlada remotamente com facilidade. O sistema também foi capaz de enviar dados contínuos ao *dashboard* e manter o gráfico de temperatura do aquário atualizado.

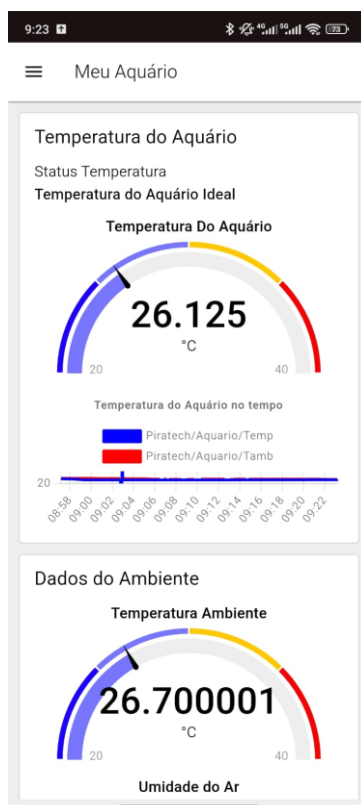
Os testes demonstraram que o sistema é funcional, confiável e capaz de ser operado remotamente de forma intuitiva. Por se tratar de uma interface Web (Figura 16, 17 e 18), pode ser acessado por qualquer dispositivo conectado à rede. Os ajustes realizados durante essa fase aumentaram a precisão das medições e a robustez geral do projeto.

Figura 16 - Aplicação Web vista por um navegador em um PC



Fonte: Próprio autor

Figura 17 - Aplicação Web acessada por um smartphone



Fonte: Próprio autor

Figura 18 - Aplicação Web acessada por uma smartTV



Fonte: Próprio autor

5.2. Custo do projeto

Para a execução deste projeto, o primeiro passo é a definição do circuito de potência que deve ser dimensionado de acordo com as características do aquário, o principal fator para um correto dimensionamento desses equipamentos é o volume de água do aquário, que neste caso é de 44 litros, no entanto como o intuito do projeto é de expansão para um novo aquário maior, alguns itens foram projetados para aquários maiores de até 100 litros. Outro ponto importante de ser destacado é que esses itens são de extrema importância para a saúde de um aquário e já haviam sido implementados antes do sistema de automação.

Para a bomba, uma boa prática é utilizar pelo menos cinco vezes a capacidade do aquário, neste caso foi escolhido uma de dez vezes o volume do aquário, sendo utilizada o modelo *Hang On* HBL-801.

Para o aquecedor, uma boa prática é utilizar a regra de um a dois watts por litro de água, aplicando a regra de dois watts por litro em regiões frias, ou no neste caso, 1 watt por se tratar de uma região quente, o modelo adotado foi o Termostato Aquecedor Roxin Q-3 50W.

Aquários com espécies de fauna ou flora mais sensíveis tendem a precisar de iluminações diferentes, como lâmpadas UV, cores mais quentes ou mais frias ou mais lúmens, no entanto para esse aquário foi utilizado uma lâmpada de LED de 2 watts, de marca genérica.

Tabela 4 - Custos do circuito de Força

Equipamento	Custo
Filtro e bomba <i>Hang On</i> HBL-801	R\$ 139,99
Termostato Aquecedor Roxin Q-3 50W	R\$ 67,08
Iluminação LED 2 W	R\$ 20,00
TOTAL	R\$ 227,07

Fonte: Próprio autor

Para o sistema de controle, podemos conferir os gastos na tabela abaixo, foram consideradas os valores de 2024 e alguns itens foram importados.

Tabela 5 - Custos do sistema de Controle

Equipamento	Custo	Origem
ESP32	R\$ 22,44	AliExpress
Relé 4 canais	R\$ 19,86	Shopee
Jumpers	R\$ 26,98	Shopee
DHT11	R\$ 25,94	Shopee
Tela LCD	R\$ 12,54	AliExpress
Buzzer	R\$ 3,84	Shopee
DS18B20	R\$ 13,20*	*
Impressão 3D	**	**
TOTAL	R\$ 124,80	

Fonte: Próprio autor

* Valor estimado, sensor cedido pelo grupo de Pesquisa Da Semente à Xícara.

** Impressão realizada sem custos pelo Laboratório de Robótica Robopatos.

6. CONCLUSÃO

O sistema de automação para aquários desenvolvido neste trabalho cumpriu seu objetivo principal de permitir o monitoramento e controle remoto de variáveis essenciais, como temperatura da água, umidade ambiente e iluminação, utilizando o microcontrolador ESP32, sensores ambientais, comunicação via MQTT e uma interface visual baseada em Node-RED. A estrutura física foi organizada em uma caixa com separação elétrica entre os circuitos de comando e potência, garantindo segurança e estabilidade na operação contínua ao lado do aquário.

Embora a aplicação tenha sido funcional em ambiente local, rodando com o servidor Node-RED em um computador doméstico, é possível projetar um cenário futuro mais robusto e independente. Nesse cenário, toda a lógica de operação, supervisão e análise de dados seria transferida para uma aplicação hospedada em servidor remoto com banco de dados integrado, eliminando a necessidade de manter o Node-RED ativo localmente. Com essa estrutura em nuvem, o sistema poderia ser acessado de qualquer local com conexão à internet, com autenticação segura e interface responsiva em múltiplas plataformas.

Além do controle remoto, a migração para um banco de dados permitiria o armazenamento de dados históricos de longo prazo, possibilitando análises mais detalhadas do comportamento do aquário ao longo dos dias, semanas e meses. Essa abordagem abriria espaço para a aplicação de ferramentas de análise preditiva, que, com base em séries temporais de dados, poderiam alertar o usuário sobre tendências de aquecimento, queda de pH ou falhas em sensores e atuadores.

Outra possibilidade de expansão está na automação da alimentação dos peixes, adicionando atuadores dedicados a esse processo e permitindo programações específicas com horários e quantidades ajustáveis. Em um cenário mais avançado, o sistema poderia ser ampliado para atuar também sobre o pH da água, com sensores de maior precisão e, eventualmente, dispositivos de correção automática. Essa última funcionalidade, no entanto, exigiria cuidado adicional, pois envolve adição de reagentes químicos ao sistema e demanda um controle muito mais rigoroso, além de conhecimento técnico sobre o ambiente aquático em questão.

Em resumo, o sistema atual representa uma base sólida para a automação doméstica de aquários, sendo funcional, acessível e adaptável. Sua evolução futura pode aproximá-lo de uma aplicação profissional, com monitoramento remoto, inteligência embarcada, expansão funcional e segurança operacional aprimorada, contribuindo para a difusão de soluções em IoT voltadas ao bem-estar animal e à automação ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] SCORESBY, K. J. et al. *Pet ownership and quality of life: a systematic review of the literature*. Veterinary Sciences, v. 8, n. 12, p. 332, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci8120332>.
- [2] HRIHORENKO, I.; HRIHORENKO, S. *Development of the system for control of environmental parameters in the aquarium*. Metrology and Instruments, n. 1, p. 66–71, 2019. DOI: [https://doi.org/10.33955/2307-2180\(1\)2019.66-71](https://doi.org/10.33955/2307-2180(1)2019.66-71).
- [3] ROBERTS, H. E.; PALMEIRO, B. S. *Toxicology of aquarium fish*. Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice, v. 11, n. 2, p. 359–374, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2007.12.005>.
- [4] SHAIKH, F. A. Z.; BHASKARWAR, U. *Smart aquarium using IoT*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, v. 10, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40546>.
- [5] LIKITHA, R. et al. *Smart aquarium monitoring system using IoT*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, v. 11, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.49185>.
- [6] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios: resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- [7] GARDIÁNOVÁ, I.; HEJROVÁ, P. *The use of small animals – mammals, birds, fish in zootherapy*. Kontakt, v. 17, n. 3, p. e171–e176, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.kontakt.2015.08.008>.
- [8] INSTITUTO BRASILEIRO DE OPINIÃO PÚBLICA E ESTATÍSTICA – IBOPE. *Pesquisa paixão por bichos*. Rio de Janeiro: IBOPE, 2015.
- [9] RAMAIAH, N. et al. *Fish tank monitoring system using IoT*. International Journal of Scientific Research in Science and Technology, v. 7, n. 3, p. 298–304, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32628/IJSRST207345>.
- [10] ABDUROHMAN, M.; PUTRADA, A. G.; DERIS, M. M. *A robust internet of things-based aquarium control system using decision tree regression algorithm*. IEEE Access, v. 10, p. 56937–56951, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177225>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- [11] HARDYANTO, R. H.; CIPTADI, P. W.; ASMARA, A. *Smart aquarium based on internet of things*. Journal of Business and Information Systems, v. 1, n. 1, p. 48–53, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36067/jbis.v1i1.12>.
- [12] ADAFRUIT. *DHT11 Datasheet*. 2019. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/737/dht-932870.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

[13] USINAINFO. *ESP32 DOIT DevKitC V4 WROOM-32D*. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/esp32/esp32-doit-devkitc-v4-wroom-32d-8682.html>. Acesso em: 5 ago. 2024.

[14] ROBOCORE. *Primeiros passos com sensor de temperatura DS18B20 e Arduino*. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/primeiros-passos-ds18b20-arduino>. Acesso em: 5 ago. 2024.

[15] MAKERHERO. *Buzzer: o que é, para que serve e como usar*. Disponível em: <https://www.makerhero.com/guia/componentes-eletronicos/buzzer>. Acesso em: 5 ago. 2024.