

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Gustavo Rodrigues Moura

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CRESCIMENTO DE PEIXES EM TANQUES:
Medição por deslocamento de volume de água utilizando IoT

BETIM, 2025

GUSTAVO RODRIGUES MOURA

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VARIAÇÃO DE VOLUME PARA CÁLCULO DE
CRESCIMENTO DE PEIXES EM TANQUES: Medição por deslocamento de
volume de água

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende
Rosa

BETIM, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

M929d Moura, Gustavo Rodrigues

Sistema de medição de crescimento de peixes em tanques: medição por deslocamento de volume de água / Gustavo Rodrigues Moura. – 2025.

71 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

Coorientação: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa

1. Piscicultura. 2. Microcontroladores. 3. Sensores. 4. Arduíno. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Moura, Gustavo Rodrigues. II. Título.

CDU: 681.51



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 14 dias do mês de fevereiro do ano de 2025, às 18:20, nas dependências do IFMG – *Campus Betim*, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Virgil Del Duca Almeida e demais membros, Arthur Hermano Rezende (coorientador), Reginaldo Vagner Ferreira e Gabriel Henrique dos Reis. Nesta ocasião o discente **Gustavo Rodrigues Moura** do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, com registro acadêmico de número 0016437 do IFMG – *Campus Betim*, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CRESCIMENTO DE PEIXES EM TANQUES: Medição por deslocamento de volume de água” e foi **APROVADO**, com 92 (Noventa e dois) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 20 dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às 19:30. Para constar, eu, Virgil Del Duca Almeida, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelo discente e membros da banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
gov.br VIRGIL DEL DUCA ALMEIDA
Data: 18/02/2025 20:12:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br GUSTAVO RODRIGUES MOURA
Data: 27/02/2025 17:13:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br ARTHUR HERMANO REZENDE ROSA
Data: 10/03/2025 10:09:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br REGINALDO VAGNER FERREIRA
Data: 07/03/2025 14:25:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br GABRIEL HENRIQUE DOS REIS
Data: 28/02/2025 23:36:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Betim, 18 de fevereiro de 2025.

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, pela força e sabedoria que me guiaram ao longo desta caminhada. À minha família, pelo amor incondicional e apoio nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de conclusão de curso não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de diversas pessoas e instituições, às quais sou imensamente grato.

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado forças, resiliência e sabedoria para superar os desafios ao longo da jornada acadêmica.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo suporte emocional, compreensão e incentivo, mesmo nos momentos mais difíceis. Vocês foram minha base e fonte de motivação constante.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelos debates enriquecedores, pelo companheirismo e pelas parcerias que tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Aos professores do curso de Engenharia de Controle e Automação, pela dedicação, paciência e orientação, que foram essenciais para minha formação. Em especial, ao meu orientador Virgil Del Duca Almeida, por sua disponibilidade, competência e pelas valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, sou grato a todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal durante esses anos. Essa conquista é fruto de um esforço coletivo e de toda a confiança depositada em mim.

Muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de um sistema automatizado para o cálculo do crescimento volumétrico de peixes em um tanque, utilizando o microcontrolador ESP32 e diversos sensores. O objetivo foi projetar um sistema eficiente, de baixo custo e fácil implementação, baseado no princípio de Arquimedes para monitorar a variação do volume dos peixes. O projeto incluiu a criação de um protótipo em escala reduzida, testes experimentais e validação dos resultados. A arquitetura do sistema integra sensores como DS18B20, YF-S201 e DHT11, conectados a uma interface gráfica desenvolvida no Arduino IDE para monitoramento remoto. Os resultados comprovaram a eficácia do sistema, destacando sua contribuição para a automação na piscicultura ao oferecer uma solução acessível que pode aumentar a eficiência e sustentabilidade do setor.

Palavras-chave: Automação, Micro controlador ESP32, Sensores, Piscicultura, Monitoramento volumétrico.

ABSTRACT

This work presents the development and implementation of an automated system for calculating the volumetric growth of fish in a tank using the ESP32 microcontroller and various sensors. The objective was to design an efficient, low-cost, and easy-to-implement system based on Archimedes' principle to monitor fish volume variations. The project included the creation of a scaled-down prototype, experimental tests, and result validation. The system architecture integrates sensors such as DS18B20, YF-S201, and DHT11, connected to a graphical interface developed in the Arduino IDE for remote monitoring. The results confirmed the system's effectiveness, highlighting its contribution to automation in aquaculture by offering an accessible solution that can enhance efficiency and sustainability in the sector.

Keywords: Automation, ESP32 Microcontroller, Sensors, Aquaculture, Volumetric Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tanque de caixa d'água com sistema de filtragem.....	20
Figura 2 – Sistema overflow	21
Figura 3 – Sistema de filtragem físico e biológico.....	21
Figura 4 – Módulo ESP32.....	29
Figura 5 – Sensor de fluxo.....	30
Figura 6 – Piranômetro PYR20.....	31
Figura 7 – Sensor de temperatura a prova d'água DHT11.....	33
Figura 8 – Sensor de umidade e temperatura DHT11.....	34
Figura 9 – Anemômetro de uma estação meteorológica.....	35
Figura 10 – Fonte de alimentação 12 volts.....	36
Figura 11 – Fonte de alimentação 5 volts.....	36
Figura 12 – Fluxograma do funcionamento do código.....	38
Figura 13 – Criação de macro pelo App Script.....	39
Figura 14 – Implementação de macro pelo App Script	40
Figura 15 – Implementação de macro pelo App Script	41
Figura 16 – Implementação de macro pelo App Script	41
Figura 17 – Gráfico de progressão do volume do teste 1	48
Figura 18 – Gráfico de progressão do volume do teste 2	49
Figura 19 – Gráfico de progressão do volume do teste 3	49
Figura 20 – Gráfico das curvas de calibração dos testes	52
Figura 21 – Gráfico da curva de calibração da média dos testes.....	53
Figura 22 - Planta de simulação do tanque	70
Figura 23-Placa de circuito do protótipo da planta.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Calor específico do ar em função da temperatura	28
Tabela 2 – Especificações do PYR20	32
Tabela 3: Custos com materiais utilizados no projeto.....	44
Tabela 4 – Resultados obtidos com o teste 1	45
Tabela 5 – Resultados obtidos com o teste 2	46
Tabela 6 – Resultados obtidos com o teste 3	47
Tabela 7: Tabela de resultados das medições volumétricas.....	50
Tabela 8: Tabela de desvio padrão dos testes.....	51
Tabela 9: Tabela de erros dos testes.....	51
Tabela 10: Tabela de resultados calibrada.....	54
Tabela 11: Tabela de desvio padrão dos testes calibrados.....	55
Tabela 12: Tabela de erros dos testes calibrados.....	55

LISTA E ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO - *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

Peixe BR - Associação Brasileira da Piscicultura

Comex - Comércio Exterior (vinculado ao Ministério da Economia)

IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)

Vt - Volume total do tanque.

Va - Volume de água no tanque.

Vp - Volume de peixes no tanque.

Ve/dt - Vazão de entrada de água no tanque por unidade de tempo.

Vs/dt - Vazão de saída de água no tanque por unidade de tempo.

ESP32 - Microcontrolador da série ESP32.

IDE - *Integrated Development Environment* (Entorno de Desenvolvimento Integrado).

PYR20 - Modelo do piranômetro para medição de radiação solar.

DS18B20 - Modelo do sensor de temperatura à prova d'água.

DHT11 - Modelo do sensor de umidade e temperatura do ar.

NTC - *Negative Temperature Coefficient* (Coeficiente Negativo de Temperatura).

HR202 - Modelo do sensor de umidade.

W/m² - Watts por metro quadrado (unidade de medição de radiação solar).

m/s - Metros por segundo (unidade de velocidade do vento).

km/h - Quilômetros por hora (unidade de velocidade do vento).

m³ - Metros cúbicos (unidade de volume).

mm/h, mm/dia, mm/mês, mm/ano - Milímetros por hora, dia, mês ou ano (unidades de taxa de evaporação).

GPIO - *General Purpose Input/Output* (Entrada/Saída de Uso Geral).

ADC - *Analog-to-Digital Converter* (Conversor Analógico-Digital).

URL - *Uniform Resource Locator* (Localizador Uniforme de Recursos).

HR - *Humidity Resistance* (Resistência à Umidade).

1-Wire - Protocolo de comunicação usado por dispositivos digitais como o DS18B20.

E - Taxa de evaporação.

Rn - Radiação solar líquida.

Rh - Umidade relativa do ar.
vw - Velocidade do vento.
Er - Taxa de evaporação por balanço de energia.
lv - Calor latente de vaporização da água.
pv - Massa específica da água.
Ea - Taxa de evaporação pelo vento.
B - Termo aerodinâmico.
eas - Pressão de saturação de vapor.
ea - Umidade relativa na altura de medição do vento.
u2 - Velocidade do vento na altura de medição padrão.
Z2 - Altura de medição do vento.
Z0 - Altura de rugosidade.
p - Pressão atmosférica.
 $\rho(\text{ar})$ - Massa específica do ar.
 $\rho(\text{w})$ - Massa específica da água.
Zlocal - Elevação do local em relação ao nível do mar.
Tar - Temperatura do ar.
Ec - Taxa de evaporação combinada.
 γ - Constante psicrométrica.
Cp - Calor específico do ar à pressão constante.
Kh - Fator de transferência de calor do ar.
Kw - Fator de transferência de massa de água.

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Letra grega Delta
ρ	Letra grega Rho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Piscicultura:.....	15
1.2. Internet das coisas (<i>IoT</i>):.....	16
1.3. Tecnologias da piscicultura:	17
1.4. Despesca para pesagem:.....	17
2. JUSTIFICATIVA	19
3. PROPOSTA E OBJETIVOS DO TRABALHO DE PESQUISA	20
3.1. Objetivo geral:	20
3.2. Objetivos específicos:.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. Modelo do tanque:.....	21
4.2. Obtenção de variáveis:.....	23
4.4. Perda por evaporação:.....	25
4.4.1. Evaporação em função da radiação:	26
4.4.2. Evaporação devido ao vento:	27
4.4.3. Evaporação combinada:	28
4.5. Módulo de processamento (ESP32):.....	29
4.6. Sensor de fluxo de água (YF-S201):	30
4.7. Medição da radiação solar (PYR20):.....	31
4.8. Sensor de temperatura a prova d'água (DS18B20):	33
4.9. Sensor de umidade e temperatura do ar (DHT11):	34
4.10. Medidor de velocidade de vento:.....	35
4.11. Fonte de alimentação:.....	36
4.13. Lógica de programação no Arduino IDE:.....	38
4.15. Tabela de monitoramento no Google Sheets:	40
4.16. Montagem do circuito:	43

4.17. Tabela de custos:	45
5. RESULTADOS E DISCURSÕES.....	46
6. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE.....	65

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de controle e automação possuem uma área de aplicação gigantesca e são responsáveis por otimizar sistemas de produção. Um dos possíveis campos de aplicação de tecnologias de controle é o agronegócio. Neste trabalho serão pontuados possíveis pontos de aplicação de métodos e tecnologias de controle e automação em sistemas de piscicultura.

1.1. Piscicultura:

Logo na primeira revolução industrial, um dos principais objetivos a ser cumprido era a produção em larga escala de alimentos. Nas últimas décadas, esse objetivo foi ampliado com uma nova premissa, tendo em vista que esses alimentos deveriam ter uma melhor qualidade.

A aquicultura é a mais rápida das atividades agropecuárias em termos de resultados produtivos, e uma das poucas capazes de responder com folga ao crescimento populacional (FAO, 2013), o que pode contribuir para o combate à fome em todo o mundo. Na aquicultura estão englobadas as atividades hidropônicas, cultivo de hortaliças em água, e a piscicultura, que é o cultivo de peixes para consumo alimentar.

O Brasil é um grande polo agrícola, e apesar da piscicultura não ser uma das principais culturas empregadas em seu território, ela é um exemplo mundial e ainda vem crescendo a cada ano que se passa.

Dados mostram que a criação de peixes no Brasil cresceu 4.9% e chegou a 758.006 toneladas produzidas no ano de 2019 e só nos últimos seis anos aumentou em 31% (Peixe BR, 2020).

No primeiro trimestre de 2020 foram exportadas 1.660 toneladas de carne de peixe. Esse valor corresponde a um aumento de 32,8% em comparação ao mesmo período de 2019. (Comex/Ministério da Economia. 2020)

São inúmeras as evidências de que a produção de alimento através da piscicultura vem aumentando no território brasileiro, e que esse alimento é utilizado para consumo a nível mundial. Por esse motivo, é necessário buscar

novas formas de ampliação e otimização para as técnicas de cultivo, visando sempre melhorar a qualidade e garantir a oferta de produto para o mercado consumidor.

1.2. Internet das coisas (IoT):

A Internet das Coisas (*do inglês Internet of Things (IoT)*) emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento, e nos últimos anos tem sido muito aplicada nos ramos acadêmicos e industriais (P. SANTOS, 2016).

Ela consiste na presença de objetos e 'coisas' inteligentes ao nosso redor, com a plena capacidade de trocar informações, interagindo e cooperando para um propósito comum (ATZORI et al. 2010).

Para um objeto poder ser classificado como *IoT*, é necessário que ele esteja integrado a um hardware, ou seja, uma série de circuitos eletrônicos que o relacione com um sistema de inteligência, podendo ser em grande parte dos casos um microcontrolador.

Os microcontroladores são dispositivos que promove a inteligência do circuito, ou seja, é nele que é executado o software do sistema. Em seu encapsulamento existem um microprocessador, memórias, temporizadores e interfaces de hardwares que podem ser conectados

A leitura e processamento de diferentes sinais em tempo real apresentados por sistemas proporciona a possibilidade de se criar um controle sobre certas variáveis que influenciam diretamente no resultado esperado após realizar o processamento (ATZORI et al. 2010). E vale lembrar que, a conexão direta das informações do sistema com o usuário, facilita muito o controle das variáveis relevantes no meio biológico cultivado.

1.3. Tecnologias da piscicultura:

Na piscicultura moderna já existem métodos automatizados que auxiliam o cultivo de peixes. As tecnologias que mais se destacam são os aeradores, que são responsáveis pelo auxílio na oxigenação de água. Em sua maioria, são aeradores do tipo chafariz, formados por bombas d'água que bombeiam a água para cima e realizam um trabalho similar a um chafariz. Isso faz com que a flor d'água da superfície fique agitada, favorecendo a diluição do oxigênio atmosférico na água. Além desse, também existe o aerador de bolhas, de injeta bolhas de ar no tanque, tendo o mesmo objetivo de agitar a flor de superfície d'água. Eles podem ser acionados a partir de circuitos elétricos com comandos manuais ou automáticos, no segundo caso pode existir o auxílio de um temporizador que pode ser digital ou analógico. Também pode haver um circuito de controle do nível de oxigênio para acionamento dos aeradores, tendo como entrada o índice de oxigênio dissolvido na água.

Durante o passar das horas do dia o nível de oxigênio dissolvido na água apresenta uma variação, tendendo a ser menor nos períodos noturnos onde não existe a fotossíntese de alguns fitoplanctons que vivem na água dos tanques dos peixes (OLIVEIRA, 2016).

Para tanque suspensos, onde a flor d'água é pequena e o número de peixes é grande, os aeradores são acionados de maneira direta e são mantidos ligados durante todo o período de criação dos peixes.

Outra tecnologia muito empregada, é a de alimentadores automáticos. Consistem em recipientes para estoque de ração, que periodicamente, despejam uma, programada ou não quantidade, de ração nos tanques de cultivo. Os métodos de acionamento podem ser diversos, mas em sua maioria é utilizado um temporizador analógico ou digital para que a alimentação seja realizada periodicamente.

1.4. Despesca para pesagem:

No processo de produção comercial de peixes, como na piscicultura, garantir a qualidade e a oferta contínua do produto é essencial para atender às

demandas do mercado consumidor. Um dos maiores desafios enfrentados pelos piscicultores é a precisão na previsão da oferta, o que depende de uma estimativa precisa do peso e do crescimento dos peixes.

Atualmente, a previsão do tempo de conclusão do cultivo de peixes é feita por meio da pesagem amostral. Esse método envolve a seleção de alguns indivíduos do tanque, que são removidos com uma rede, pesados e devolvidos ao tanque. Os pesos desses peixes amostrados são então extrapolados para estimar o peso total da população.

A manipulação física durante o processo de amostragem causa estresse nos peixes, o que pode ter consequências negativas:

Suicídio dos peixes: O estresse induzido pelo manuseio pode levar os peixes a tentarem escapar, saltando para fora do tanque. Isso frequentemente resulta em mortes, prejudicando o rendimento do cultivo.

Impacto no metabolismo: O estresse também pode desregular o metabolismo dos peixes, afetando seu apetite e seu ganho de peso. Isso retarda o crescimento e pode comprometer o tempo de produção, além de diminuir a eficiência alimentar.

2. JUSTIFICATIVA

Com o crescimento da população mundial, é crucial investir em técnicas de cultivo e criação de alimentos que consigam abastecer todos os consumidores.

Uma das culturas agrícolas mais eficientes em tempo de produção é a aquicultura (MILANEZ, 2019), de onde é derivada a piscicultura, que tem como objetivo a criação de peixes para consumo da carne.

Entretanto, a agricultura como um todo possui índices de perdas nos produtos e na cultura de peixes não é diferente. Como em qualquer processo produtivo, existem fatores que influenciam diretamente na criação de peixes. Existe o índice de mortalidade e o índice de crescimento que são controlados por esses fatores.

De modo geral, a mortalidade dos peixes é oriunda da falta de qualidade da água onde vivem (ESTEVES, 1998). Índices de oxigênio dissolvido, amônia e a temperatura da água são as principais variáveis para se manter a qualidade da água estável.

Vários projetos de tanques suspensos já apresentaram fragilidades que possibilitam o acontecimento de falhas que comprometam a mortalidade dos peixes, por não controlarem as variáveis necessárias.

Do mesmo modo o índice de crescimento de várias espécies de peixes pode ser comprometido pela qualidade da água sem respeitar os fatores responsáveis pelo real metabolismo do peixe.

Ao aplicar um sistema de cálculo do crescimento, pode-se monitorar e até mesmo prever o crescimento dos peixes. Desta forma é possível testar, controlar e modificar alguns fatores, como o tipo de ração, que podem garantir que a taxa de crescimento seja maximizada.

3. PROPOSTA E OBJETIVOS DO TRABALHO DE PESQUISA

A aplicação de métodos de controle e automação utilizando tecnologias IoT já é utilizada como alternativa para otimizações de produção no setor industrial. O objetivo deste projeto é realizar essa aplicação no campo da piscicultura.

3.1. Objetivo geral:

Construir um sistema remoto de cálculo da variação volumétrica de um tanque que possa ser utilizado para representar a taxa de crescimento de peixes.

3.2. Objetivos específicos:

- Projetar e implementar um sistema de medição de variação do volume de água em um tanque.
- Criar uma planilha de monitoramento remoto dos resultados.
- Medir eficiência após a implantação do sistema remoto e calibrar o sistema para melhorar a eficiência da obtenção dos resultados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

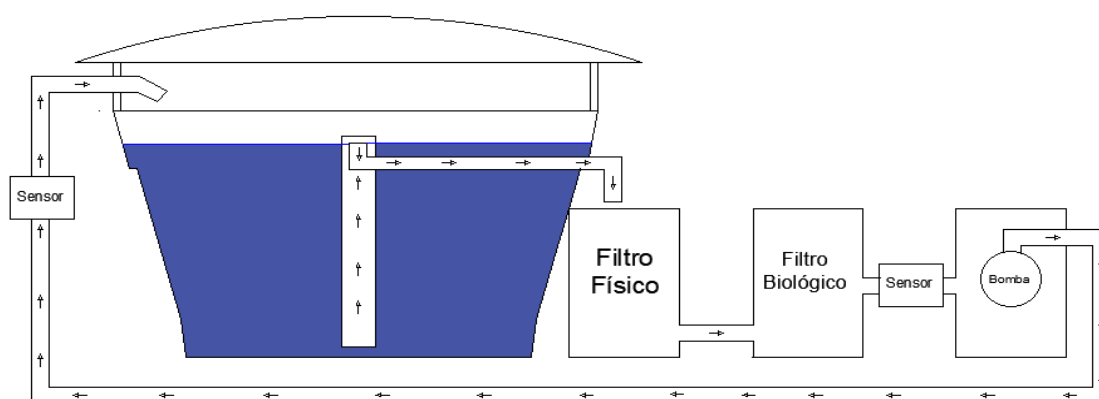
4.1. Modelo do tanque:

O protótipo desenvolvido será aplicado utilizando como base, um modelo real, porém em escala reduzida. O volume previsto do tanque é de 6 litros, no qual serão introduzidos objetos de volumes conhecidos para simular o crescimento dos peixes.

O tanque a ser estudado possui:

- Uma bomba hidráulica.
- Um canal de entrada de água com fluxo forçado.
- Um canal de saída.
- Um reservatório de água para alimentação da bomba.

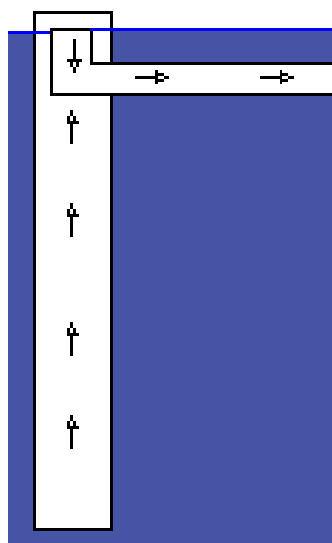
Figura 1: Tanque de caixa d'água com sistema de filtragem.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O sistema overflow consiste em um canal de saída de água que funciona como limite de enchimento do tanque. Ao atingir o limite estabelecido a água do tanque é drenada por gravidade pela tubulação do overflow tornando assim o nível da água no tanque fixo.

Figura 2: Sistema overflow.

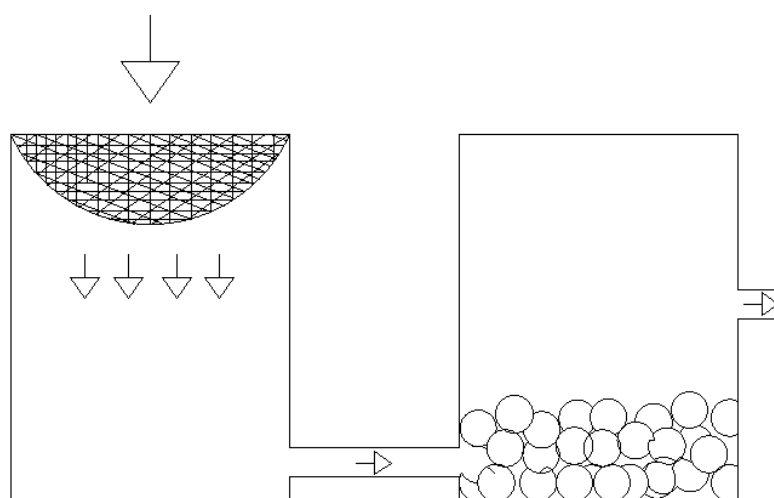


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Vale citar que esse modelo de estrutura permite retirar a água do fundo do tanque principal, permitindo a remoção dos dejetos depositados ali.

Devido ao volume de matéria gerada no tanque, restos de ração e fezes dos peixes, é necessário que os tanques de piscicultura tenham um filtro físico e um filtro biológico para fazerem a limpeza da água e um reservatório de transição após a saída de água do tanque. Assim todos os dejetos são retidos.

Figura 3: Sistema de filtragem físico e biológico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Todos estes sistemas são de extrema importância dentro de uma planta real de piscicultura com tanques elevados, entretanto, como o sistema a ser testado, é apenas um protótipo em escala menor onde o volume de crescimento dos peixes é simulado com o acréscimo gradativo de água, não é necessário ser empregado os sistemas de filtros e overflow.

4.2. Obtenção de variáveis:

O monitoramento das grandezas responsáveis pelo cálculo volumétrico do sistema do tanque será realizado por um microcontrolador. Por meio de captação de dados coletados via sensores físicos os valores das grandezas medidas serão inseridos nas equações estabelecidas, para alcançar o objetivo determinado.

Após captar, tratar e comparar os dados, o microcontrolador deverá também, transferir dados com as grandezas captadas e o resultado do cálculo obtido para uma tabela.

4.3. Taxa de crescimento volumétrico:

Como alternativa para realizar a medição da taxa de crescimento dos peixes durante o período de engorda, será feita uma simulação da medição do volume de peixes no sistema durante todo o tempo de criação.

Para realizar este cálculo, será utilizado o método de conservação de volume no mesmo contexto do Princípio de Arquimedes.

Quando um objeto é submerso em um fluido, ele desloca um volume de fluido igual ao volume da parte do objeto que está submersa. No caso deste projeto, o volume do objeto é o volume que é adicionado no tanque, que são os peixes que estão crescendo e a água do sistema de entrada. Outro fator é que o volume de fluido deslocado é medido através da água que sai pelo dreno do tanque.

Como o nível da água do tanque é fixo, o volume do seu conteúdo também será. Desta forma foi possível deduzir, dentro deste trabalho, que:

$$V_t = V_a + V_p \quad (1)$$

Onde:

- V_t = Volume total do tanque
- V_a = Volume de água no tanque
- V_p = Volume de peixes no tanque

A partir desta função é possível realizar o monitoramento de V_p apenas tendo como dado inicial o valor de V_t , que é uma constante, e o valor de V_a , que varia no tempo, mas pode ser calculada utilizando a relação entre as vazões de entrada e saída de água no tanque.

Desta forma, foi entendido que:

$$V_a(t) = V_a(t) + t \left(\frac{V_e}{dt} - \frac{V_s}{dt} \right) \quad (2)$$

Onde:

- V_a = Volume de água no tanque
- $\frac{V_e}{dt}$ = Vazão de entrada de água do tanque
- $\frac{V_s}{dt}$ = Vazão de saída de água do tanque
- t = Tempo

Entretanto, existe um fenômeno físico que insere um erro neste método de medição. Em um sistema ideal o tanque possui apenas uma entrada e uma saída de água, mas em um sistema real existem duas saídas de água. É necessário considerar também a água perdida por evaporação.

A evaporação adiciona um erro significativo no cálculo de V_a e, portanto, precisa ser levado em conta. O cálculo da taxa de evaporação foi realizado utilizando as equações do método de Penman-Monteith, que considera diversos fatores ambientais, como radiação solar, umidade, vento e temperatura.

O método de Penman foi introduzido em 1948 por Howard Latimer Penman, um cientista britânico que desenvolveu a equação como uma maneira de estimar a evaporação de água em superfícies abertas, culturas agrícolas e solo. Ele apresentou o método em seu artigo seminal intitulado "Natural

Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass", publicado no Proceedings of the Royal Society of London.

Desde então, o método de Penman tornou-se um dos modelos mais utilizados em estudos de evaporação, manejo de recursos hídricos e agricultura. Ele foi posteriormente ajustado e refinado para criar variantes como o método Penman-Monteith, amplamente adotado atualmente por organizações internacionais como a FAO para estimativas de evapotranspiração em práticas agrícolas.

Agora, utilizando essa equação, você pode monitorar V_p , o volume de peixes, ao longo do tempo:

$$V_p(t) = V_t - V_a(t) \quad (3)$$

4.4. Perda por evaporação:

Evaporação por definição, é o processo físico no qual um líquido ou sólido passa para o estado gasoso. A superfície de um corpo de água, como por exemplo a água presente em um tanque de piscicultura, está sujeita à evaporação mesmo quando se faz a utilização de estufas.

Dentro dos sistemas de piscicultura que utilizam água de recirculação, a única perda efetiva de água é gerada pela evaporação. Esta depende somente dos fatores meteorológicos e ambientais, principalmente a radiação solar, umidade do ar, temperatura e o vento.

Os principais fatores meteorológicos para a evaporação são:

- Radiação solar líquida (R_n) sobre a superfície: varia com a hora do dia e com o dia do ano (estações), depende da atenuação da atmosfera (poluição, poeira, aerossóis) e da nebulosidade;
- Umidade do ar (R_h), ou então, da pressão de vapor do ar (e) e pressão de saturação (e_s) para a temperatura do ar T ;
- Temperatura do ar (T);
- Velocidade do vento (v_w)

$$E = f [R_n, e_s, e, v_w, T] \quad (4)$$

Onde:

- E = taxa de evaporação em [mm/h, mm/dia, mm/mês, ou mm/ano], r também pode ser definido como:

$$E = -\frac{dh}{dt} \quad (5)$$

Onde:

- $-\frac{dh}{dt}$ = taxa de diminuição da altura do nível do corpo de água

A partir do valor de E, pode-se descobrir a perda do volume de água se o utilizar juntamente com o valor da área da flor de água formada pelo tanque.

Assim temos que:

$$V_p(t) = A_t \cdot t \cdot E \quad (6)$$

Onde:

- V_p = Volume da perda de água por evaporação
- A_t = Área da flor de água do tanque
- t = Tempo
- E = taxa de evaporação em [mm/h, mm/dia, mm/mês, ou mm/ano]

Contudo temos que a equação que representa o sistema de controle volumétrico de um tanque elevado de piscicultura é:

$$V_a(t) = V_a(t) + t \left(\frac{V_e}{dt} - \frac{V_s}{dt} \right) - V_p(t) \quad (7)$$

4.4.1. Evaporação em função da radiação:

A evaporação da água ocorre principalmente em função de dois fatores meteorológicos. Um deles é a radiação.

É possível realizar o cálculo da taxa de evaporação da água através da relação da radiação solar líquida com outras duas propriedades meteorológicas.

$$E_r = \frac{R_n}{l_v \cdot \rho_v} \cdot 1000 \cdot 86400 \quad (8)$$

A equação acima é chamada de “Taxa de evaporação por balanço de energia”, que é decorrente da radiação solar. Nesta equação o valor da taxa de evaporação, representado por E_r , é dado em mm/dia.

Assumindo-se que as variações da massa específica da água e do calor latente de vaporização com a temperatura do ar variem pouco, então podemos assumir que as propriedades termodinâmicas de referência sejam:

- Calor latente de vaporização da água: l_v em J.kg⁻¹
- Massa específica da água $\rho_v = 1000$ kg.m⁻³

4.4.2. Evaporação devido ao vento:

Além da radiação solar, o vento é o segundo fator que controla a taxa de evaporação de uma superfície de água, transportando o vapor para longe da superfície de origem.

A equação que representa a taxa de evaporação pelo vento é:

$$E_a = B \cdot (e_{as} - e_a) \cdot 1000 \cdot 86400 \quad (9)$$

Onde:

- E_a = Taxa de evaporação pelo vento
- B = Termo aerodinâmico
- e_{as} = Pressão de saturação de vapor
- e_a = Umidade relativa na altura de medição do vento

O termo aerodinâmico, B , depende de:

- u^2 = velocidade do vento
- Z^2 = altura em que o vento é medido ($Z^2=10$ m em estações meteorológicas padrão);
- Z_0 = altura de rugosidade;
- p = pressão atmosférica;

- ρ = massas específicas do ar e da água na temperatura T (pode-se assumir que sejam constantes).

$$B = K^2 \cdot \frac{\rho(\text{ar})}{\rho(\text{w})} \cdot \frac{0,622(u2)}{p \cdot \left[\ln\left(\frac{Z2}{z0}\right) \right]^2} \quad (10)$$

A massa específica do ar pode ser calculada pela equação de regressão:

$$\rho(\text{ar}) = 353,4 \cdot \frac{\left(1 - \frac{Z_{\text{local}}}{45271}\right)^{5,264}}{273,15 + T_{\text{ar}}} \quad (11)$$

Onde:

- Z_{local} = elevação do local em relação ao nível médio do mar
- T_{ar} = temperatura do ar

A pressão de saturação de vapor pode ser calculada pela equação:

$$eas = 611 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{\text{ar}}}{237,3 + T_{\text{ar}}}\right) \quad (12)$$

A umidade relativa na altura Z2 pode ser calculada pela equação:

$$ea = eas \cdot \left(\frac{Rh\%}{100}\right) \quad (13)$$

4.4.3. Evaporação combinada:

A equação de Penman (Penman, 1948) é considerada a equação governante do Método Combinado:

$$E_c = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot E_a \quad (14)$$

A constante psicrométrica, γ , é função de:

- C_p = calor específico do ar à pressão constante, que varia com a temperatura do ar T;

- lv = calor latente de vaporização da água ($lv=2496 \text{ kJ.kg}^{-1}$);
- p = pressão atmosférica

$$\gamma = \frac{C_p . Kh . p}{0,622 . lv . Kw} \quad (15)$$

De acordo que:

$$\frac{Kh}{Kw} \sim 1 \quad (16)$$

O valor de C_p pode ser estimado em relação com a temperatura do ar de acordo com a tabela apresentada abaixo:

Tabela 1: Calor específico do ar em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Calor específico do ar seco (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
-20	1,005
0	1,011
10	1,010
20	1,012
30	1,013

Fonte: Guetter, 2016.

A constante Δ é também pode ser parametrizada pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 . eas}{(237,3+T)^2} \quad (17)$$

4.5. Módulo de processamento (ESP32):

Para o processamento das informações obtidas dos sensores e hospedagem do software de controle e atuação, é necessário utilizar algum equipamento de controle. Por ter características de baixo custo e baixo consumo de energia, foi escolhido um microcontrolador da série ESP 32.

O ESP32 é um módulo Wi-Fi de alta performance, com um baixíssimo consumo de energia. É uma evolução do ESP8266, com maior poder de processamento e bluetooth BLE 4.2 embutido.

A placa possui o chip ESP32 com antena embutida, uma interface usb-serial e regulador de tensão 3.3V. A programação pode ser feita em LUA ou usando a IDE do Arduino através de um cabo micro-usb.

Com 4 MB de memória flash, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, webservers e dataloggers, entre outros.

Figura 4: Módulo ESP32.



Fonte: <https://www.eletragate.com/modulo-wifi-esp32-bluetooth-30-pinos>

4.6. Sensor de fluxo de água (YF-S201):

Para monitorar o volume de água que está dentro do tanque, deverá ser utilizado dois sensores de fluxo de água de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, um na entrada e outro na saída do sistema overflow. Cada um deles possui uma saída e uma entrada de água, o que significa que ao ser instalado ele deve possuir um sentido a ser respeitado. No seu interior existe uma hélice, que ao girar movimenta seu eixo com um ímã que posteriormente aciona um sensor de efeito Hall durante a sua movimentação giratória. O sensor de efeito Hall é responsável por gerar pulsos de 0-5V que são enviados até o microcontrolador e assim é possível calcular a vazão em litros por minuto existente no sistema.

O sensor de efeito Hall é responsável por gerar pulsos de 0-5V que são enviados até o microcontrolador e assim é possível calcular a vazão em litros por minuto existente no sistema.

Figura 5: Sensor de fluxo.



Fonte: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua-de-1-2>

4.7. Medição da radiação solar (PYR20):

O piranômetro é o instrumento usado para o monitoramento de radiação solar global sobre superfícies planas. São convencionalmente utilizados em estações meteorológicas.

Figura 6: Piranômetro PYR20.



Fonte: <https://www.infwin.com/pyr20-solar-radiation-pyranometer-sensor-sdi-12-interface/>.

O piranômetro PYR20, mede a radiação global tanto direta quanto por difusão da irradiação solar. A compensação de temperatura interna minimiza o erro causado pelo aquecimento do sensor.

Este sensor é calibrado com o piranômetro Espectral de Precisão Eppley e possui uma faixa de medição de 0-2000 W/m², com um erro de até 5%.

A tabela mostrada a seguir, refere-se às informações técnicas do piranômetro PYR20.

Tabela 2: Especificações do PYR20.

Especificações			
Interface de saída	Tensão Analógica 0-2V (Resistência de saída ~0ohm)	Corrente Analógica 4-20mA (Resistor de carga<500ohm)	RS485 Modbus-RTU
Fonte de energia	3,9-30V/CC	12-30V/CC	3,9-30V/CC
Consumo de energia	7mA@24V CC	30mA@24V CC (com sinal de saída de 20mA)	7mA@24V CC
Faixa Pyr	Faixa: 0-2000 W/m ² , Precisão 5%, Resolução: 1 W/m ²		
Faixa Espectral	400-1100 nm		
Erro de direção	Porcentagem de leitura: ±3% (0 – ±70°); ±10% (±70 – ±85°)		
Classificações IP	IP66		
Temperatura de operação	-40~85°C		
Instalação	Furo do parafuso * 3		
Comprimento do cabo	2 metros, ou Personalizar		
Dimensão	75*55*58mm		

Fonte: <https://www.infwin.com/pyr20-solar-radiation-pyranometer-sensor-sdi-12-interface/>.

4.8. Sensor de temperatura a prova d'água (DS18B20):

O termômetro digital DS18B20 fornece medições de temperatura com apenas 1 fio. O DS18B20 é bastante preciso, tendo $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão entre as temperaturas de -10°C e 85°C . Este modelo de sensor também possui um range de leitura de -55°C a 125°C , e proporciona leituras de temperatura de até 12 bits através de uma conexão de dados de apenas 1 fio com o seu micro controlador.

Figura 7: Sensor de temperatura a prova d'água do modelo DS18B20.



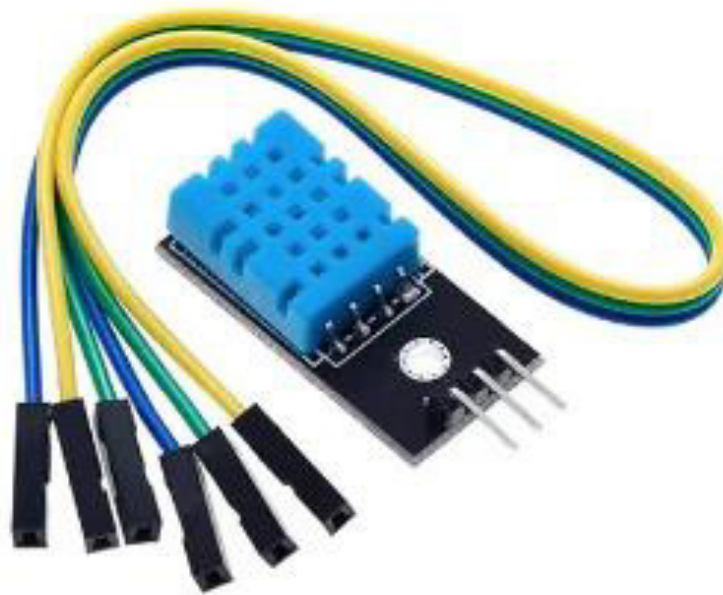
Fonte: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua>.

4.9. Sensor de umidade e temperatura do ar (DHT11):

Para monitorar a umidade e a temperatura do ar para que assim ser realizado o cálculo de evaporação de água, é utilizado um sensor do modelo DHT11.

O DHT11 é um sensor de temperatura e umidade de saída de sinal digital garantindo alta confiabilidade e estabilidade a longo prazo. O elemento sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC e o sensor de Umidade é do tipo HR202, o circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador através de um sinal serial de uma via.

Figura 8: Sensor de umidade e temperatura DHT11.



Fonte: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11-cabos>.

4.10. Medidor de velocidade de vento:

O Anemômetro é um equipamento eletrônico, também conhecido como sensor de vento, que foi desenvolvido com a finalidade de medir a velocidade do vento em projetos envolvendo plataformas de micro controladores.

Ele é constituído por captadores do tipo copo (caneca), que possuem excelente desempenho para medir o vento, além de maior resistência a agentes externos, já que os copos são produzidos em alumínio de alta durabilidade.

O Anemômetro Arduino Fixo consegue fazer a leitura da velocidade do vento de 0 a 33,33 m/s, o que equivale a 120 km/h.

O Anemômetro conta ainda com alta precisão e boa estabilidade já sendo calibrado de fábrica, possuindo sensor reed switch.

Figura 9: Anemômetro de uma estação meteorológica



Fonte: https://www.usinainfo.com.br/1017337-thickbox_default/anemometro-para-estacao-meteorologica-e-arduino-sv10.jpg.

4.11. Fonte de alimentação:

Para alimentar o circuito são necessários dois níveis de tensão, um de 12 volts para alimentar o sensor de radiação solar e outro de 5 volts para o restante do circuito.

Figura 60: Fonte de alimentação 12 volts.



Fonte: <https://www.pontodaeletronica.com.br/fonte-de-alimentac-o-12v-2a-plug-2-1mm-biv.html>.

Figura 11: Fonte de alimentação 5 volts.



Fonte: <https://www.robocore.net/fonte/fonte-chaveada-5v>.

4.13. Lógica de programação no Arduino IDE:

O ESP32 é um microcontrolador que pode ser programado usando o software Arduino IDE.

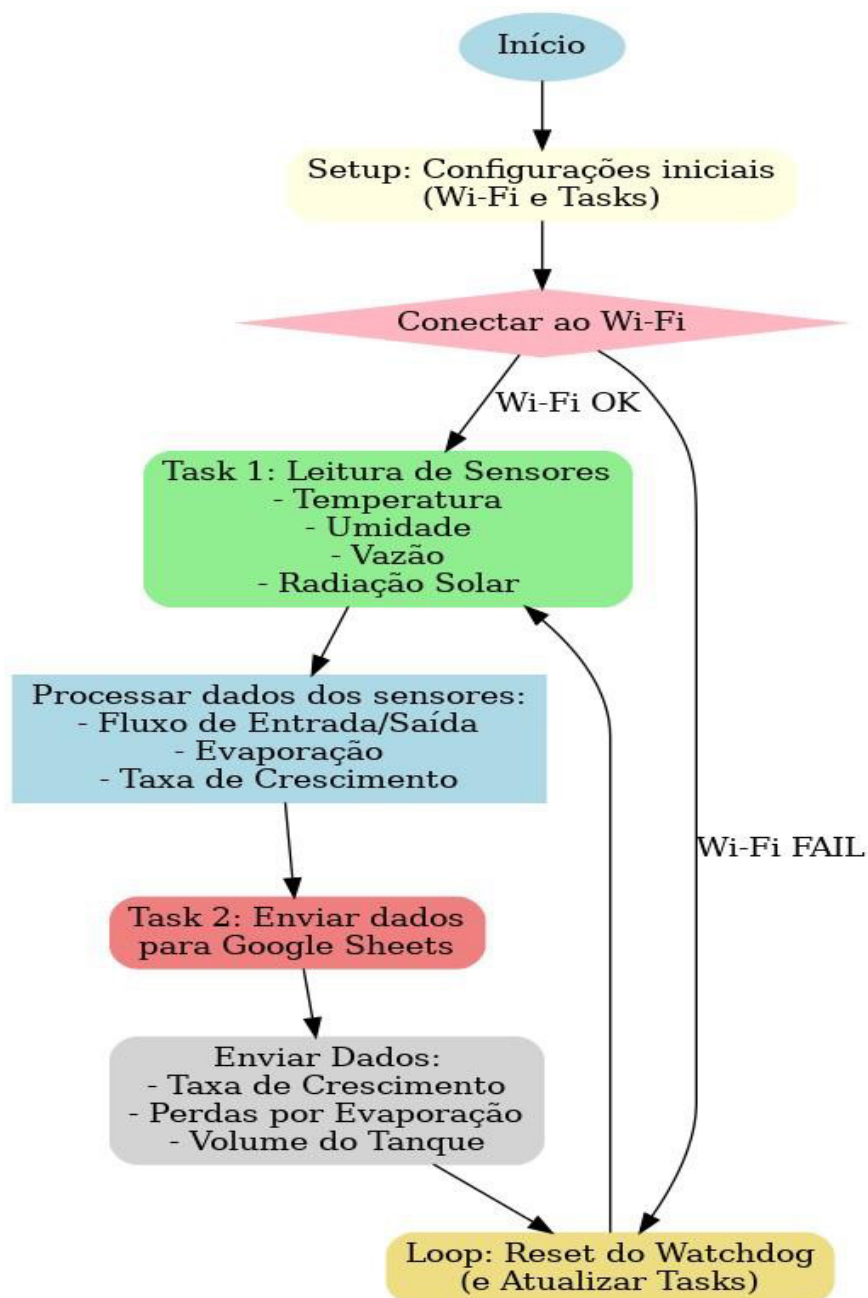
O Arduino IDE (Entorno de Desenvolvimento Integrado de Arduino) é um software de código aberto usado para programar e carregar código em placas Arduino e outros dispositivos compatíveis. Este software inclui um editor de código onde você pode escrever programas baseados no idioma C/C++ especificamente projetados para placas Arduino e afins.

Para fazer a lógica de programação da obtenção dos dados físicos, do cálculo da taxa de crescimento volumétrico e da transferência de dados do ESP32 para a tabela do Google Sheets, foi utilizado a função dual-core do microcontrolador.

O ESP32 é notável por sua arquitetura de processador dual-core, que o diferencia de seu antecessor, o ESP8266, e de muitos outros microcontroladores. O ESP32 possui dois núcleos de microcontrolador Tensilica LX6 de 32 bits. Este design dual-core permite multitarefa mais eficiente e processamento de tarefas em paralelo.

O fluxograma a seguir mostra perfeitamente o funcionamento do programa.

Figura 12: Fluxograma do funcionamento do código de programação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Esse fluxo garante que o ESP32 colete e envie dados periodicamente, enquanto processa informações críticas como o crescimento do volume no

tanque e as condições ambientais, de maneira eficiente e sem sobrecarregar o microcontrolador.

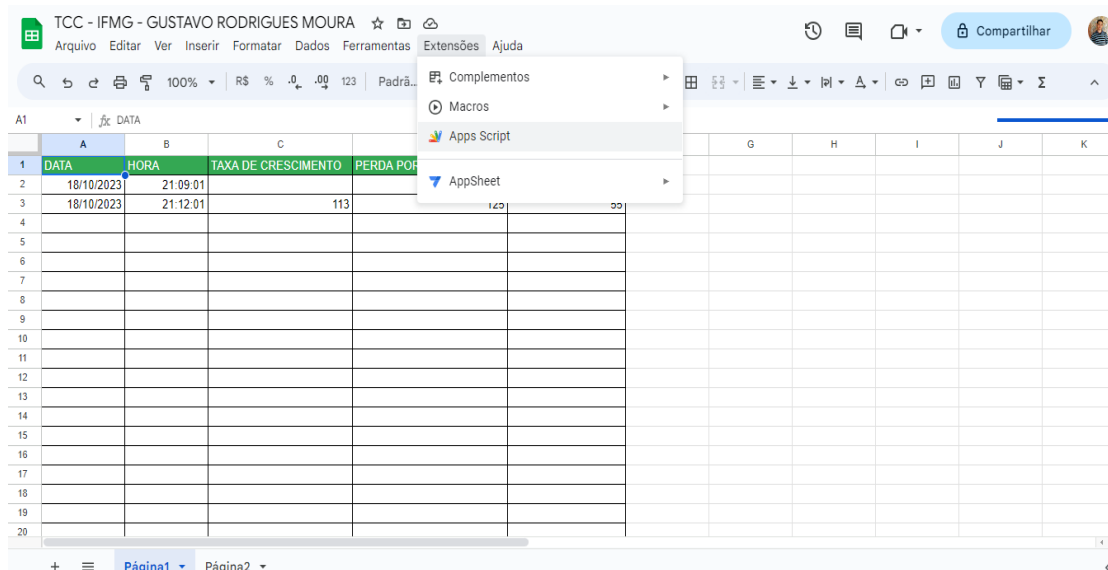
4.15. Tabela de monitoramento no Google Sheets:

O Google Sheets é um aplicativo de planilha baseado na web, desenvolvido pelo Google como parte do pacote de produtividade Google Workspace (antigo G Suite). Ele permite que os usuários criem, editem e colaborem em planilhas online. O Google Sheets é totalmente baseado na nuvem, o que significa que o usuário pode acessar, editar e até utilizar suas planilhas como banco de dados em qualquer dispositivo com conexão à internet. É uma ferramenta acessível e pode ser utilizado por meio de um navegador da web ou aplicativo móvel.

No Google Sheets, você pode criar macros personalizadas e automatizar tarefas usando o Google Apps Script. O Google Apps Script é uma linguagem baseada em JavaScript que permite estender a funcionalidade dos aplicativos do Google Workspace, incluindo o Google Sheets.

Foi necessário criar um script para executar macro, para isso utilizou-se a ferramenta App Script. Para acessá-lo basta ir na aba de extensões, depois Apps Script, com essa extensão pode-se programar diversas automações na planilha. Aqui ela será usada para gravar, no arquivo, os dados recebidos, tornando-o uma espécie de banco de dados.

Figura 13: Criação de macro pelo App Script.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No Script foi utilizado um programa de modo a receber os parâmetros enviados pelo ESP32 para um URL da web. Em seguida esses parâmetros são inseridos nas colunas, juntamente com a data e a hora em que eles estão sendo inseridos.

O código referente à criação do Script está presente no apêndice deste trabalho.

Após criar o Script é necessário publicá-lo, pois, o ESP32 irá buscar o script, e o mesmo irá inserir os dados na planilha. Para isso deve-se ir em, implantar e depois em nova implantação.

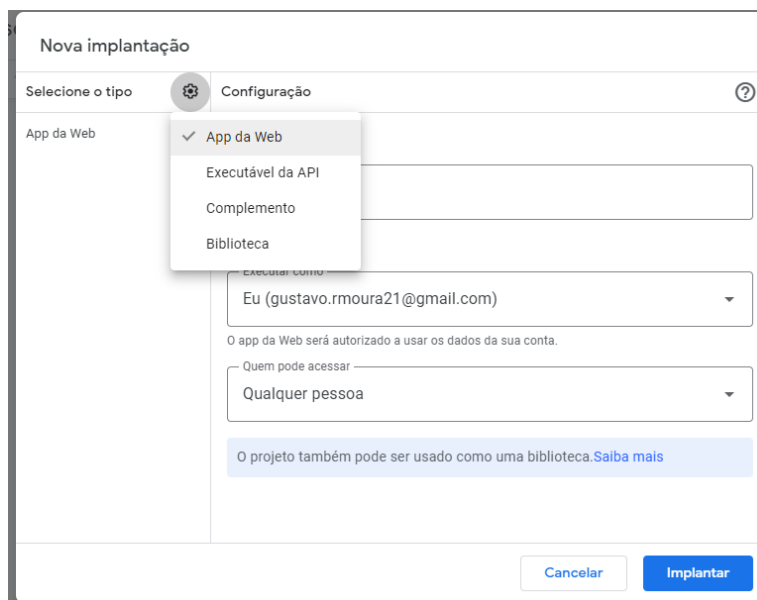
Figura 14: Implementação de macro pelo App Script.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Ao criar uma nova implantação, a configuração do tipo de implantação foi alterada. A opção escolhida foi "App da Web", como mostrado na figura abaixo.

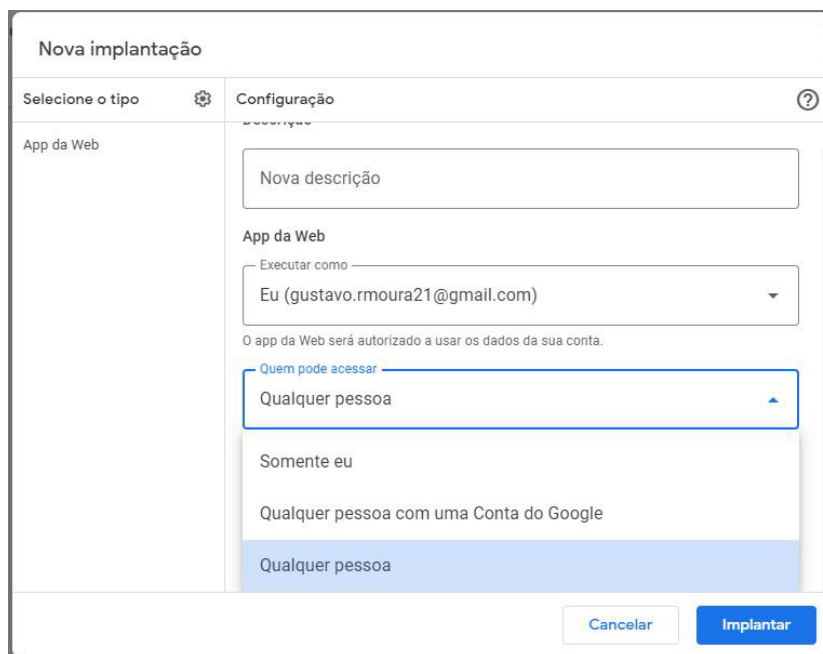
Figura 15: Implementação de macro pelo App Script.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Antes de implementar o script, é importante também definir o acesso ao app. Neste caso, foi escolhido que o acesso pode ser realizado por qualquer pessoa e, logo em seguida, foi feita a implementação.

Figura 16: Implementação de macro pelo App Script.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Essa implantação gerou uma URL, que foi utilizada no programa do ESP32 para receber os parâmetros da taxa de crescimento dos peixes. Essa URL, que possibilita testar a planilha, é o caminho para todos os acessos a ela. A cada vez que essa URL for acessada, os valores associados a ela serão inseridos na tabela, uma linha abaixo dos valores anteriores.

O link da tabela criada no Google Sheets está presente no apêndice deste trabalho.

4.16. Montagem do circuito:

O circuito do protótipo foi montado em uma placa de fenolite quadrada de 10 centímetros. Os sensores foram conectados ao circuito conforme as especificações fornecidas pelos fabricantes nos respectivos datasheets.

O DS18B20 é um sensor de temperatura digital que se comunica com o ESP32 via o protocolo 1-Wire. Ele possui três pinos de conexão:

VCC: Conectado ao polo positivo da fonte de tensão de 5 volts.

GND: Conectado ao polo negativo da fonte de tensão de 5 volts.

Sinal: Conectado ao GPIO4 do ESP32.

Foi adicionado um resistor de $10k\Omega$ entre o pino DQ (sinal) e o VCC como pull-up.

O piranômetro PYR20 mede a irradiância solar e fornece uma saída em corrente de 4-20mA. Como o ESP32 mede tensões, foi necessário converter essa corrente em tensão. Para isso, foi colocado um resistor de 160Ω em série entre o GND do piranômetro e o pino GND do ESP32. O terminal positivo do piranômetro foi conectado à fonte de alimentação de 12V, enquanto o terminal negativo foi ligado ao resistor.

Para realizar a leitura da tensão, o ponto de junção entre o piranômetro e o resistor foi conectado ao GPIO34 (ADC1) do ESP32.

O DHT11 foi conectado ao ESP32 utilizando os seguintes pinos:

VCC: Conectado ao pino de 3.3V do ESP32.

GND: Conectado ao GND do ESP32.

Sinal: Conectado ao GPIO4 do ESP32. Um resistor de $10k\Omega$ foi adicionado entre o pino de dados e o pino VCC para atuar como pull-up.

Os sensores de fluxo YF-S201 foram conectados ao ESP32 utilizando os seguintes pinos:

VCC: Conectado ao pino de 5V do ESP32.

GND: Conectado ao GND do ESP32.

Sinal: Conectado ao GPIO14 e GPIO15 do ESP32. Para cada sensor um resistor de $10k\Omega$ foi adicionado entre o fio de sinal e o pino de 3.3V do ESP32 para atuar como pull-up.

Além de conectar os sensores ao ESP32, eles foram alimentados utilizando duas fontes. Uma fonte de 12 volts foi utilizada para alimentar o piranômetro, enquanto outra fonte, de 5 volts, foi usada para alimentar o restante do circuito.

4.17. Tabela de custos:

A tabela 3 representa o levantamento dos preços necessários para realizar a montagem do projeto. De todos os materiais apresentados, o único que não foi adquirido foi o anemômetro.

Foi desconsiderado o uso do sensor de medição de velocidade de vento por seu custo ser mais elevado e pelos testes realizados terem sido feitos em ambiente fechado, onde a velocidade dos ventos é irrisória.

Tabela 3: Custos com materiais utilizados no projeto.

MATERIAL	CUSTO UNITÁRIO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL
ESP32	R\$ 61,60	1	R\$ 61,60
Sensor de fluxo YF-S201	R\$ 27,33	2	R\$ 54,66
Anemômetro DIY	R\$ 307,00	1	R\$ 307,00
Sensor de radiação solar PYR20	R\$ 259,99	1	R\$ 259,99
Sensor de temperatura DS18B20	R\$ 24,97	1	R\$ 24,97
Sensor DHT11	R\$ 14,16	1	R\$ 14,16
Fonte de alimentação 5v 1a	R\$ 20,80	1	R\$ 20,80
Fonte de alimentação 12v 2a	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Placa de fenolite 10x10	R\$ 18,90	1	R\$ 18,90
Resistores	R\$1,00	4	R\$4,00
Registro e tubulações hidráulicas	R\$ 28,60	1	R\$ 28,60
Bomba hidráulica	R\$ 34,20	1	R\$ 34,20
Balde de 8 litros	R\$ 6,00	2	R\$ 12,00
TOTAL			R\$ 866,88

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5. RESULTADOS E DISCURSÕES

Foram realizados três testes. Todos os testes foram realizados adicionando amostras de água ao tanque, que somadas representam o valor de 3,5 L. Esse volume foi dividido em 10 amostras de 0,35 L.

Durante o teste foram coletadas as saídas do sistema e marcados os momentos onde foram inseridas as amostras de entrada do protótipo, colorindo a fonte das linhas que representam as amostras de vermelho. As saídas coletadas estão sendo representadas nas tabelas 4, 5 e 6. A tabela 4 indica os resultados do primeiro teste, a tabela 5 indica os resultados do segundo teste e a tabela 6 indica os resultados do terceiro teste.

Tabela 4: Resultados obtidos com o teste 1.

HORA	VOLUME[L]	EVAPORAÇÃO[L]	VOLUME TANQUE[L]
18:20:18	0	0	6
18:20:31	0	0	6
18:20:44	0	0	6
18:20:58	0,23	0	6
18:21:11	0,25	0	6
18:21:26	0,3	0	6
18:21:39	0,46	0	6
18:22:07	0,46	0	6
18:22:20	0,46	0	6
18:22:34	0,46	0	6
18:22:48	0,46	0	6
18:23:01	0,46	0	6
18:23:14	0,69	0	6
18:23:28	0,78	0	6
18:23:42	0,82	0	6
18:23:56	1,03	0	6
18:24:13	1,03	0	6
18:24:29	1,03	0	6
18:24:43	1,1	0	6
18:24:57	1,29	0	6
18:25:11	1,29	0	6
18:25:25	1,36	0	6
18:25:38	1,55	0	6
18:25:52	1,55	0	6
18:26:06	1,55	0	6
18:26:20	1,73	0	6

18:26:33	1,82	0	6
18:26:47	1,83	0	6
18:27:02	2,1	0	6
18:27:16	2,11	0	6
18:27:29	2,11	0	6
18:27:47	2,14	0	6
18:28:00	2,35	0	6
18:28:14	2,35	0	6
18:28:27	2,35	0	6
18:28:41	2,36	0	6
18:28:55	2,61	0	6
18:29:08	2,61	0	6
18:29:21	2,61	0	6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 5: Resultados obtidos com o teste 2.

HORA	VOLUME	EVAPORAÇÃO	VOLUME TANQUE
21:41:26	0	0	6
21:41:40	0	0	6
21:41:53	0,12	0	6
21:42:07	0,29	0	6
21:42:20	0,29	0	6
21:42:34	0,35	0	6
21:42:47	0,55	0	6
21:43:01	0,55	0	6
21:43:15	0,57	0	6
21:43:29	0,86	0	6
21:43:42	0,86	0	6
21:43:56	0,86	0	6
21:44:10	0,95	0	6
21:44:23	1,08	0	6
21:44:37	1,08	0	6
21:44:50	1,24	0	6
21:45:03	1,38	0	6
21:45:17	1,38	0	6
21:45:30	1,39	0	6
21:45:44	1,7	0	6
21:45:57	1,7	0	6
21:46:11	1,7	0	6
21:46:25	1,88	0	6
21:46:39	2	0	6
21:46:52	2	0	6
21:47:06	2,19	0	6

21:47:20	2,29	0	6
21:47:33	2,29	0	6
21:47:54	2,29	0	6
21:48:15	2,3	0	6
21:48:28	2,55	0	6
21:48:42	2,56	0	6
21:48:56	2,62	0	6
21:49:11	2,85	0	6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 6: Resultados obtidos com o teste 3.

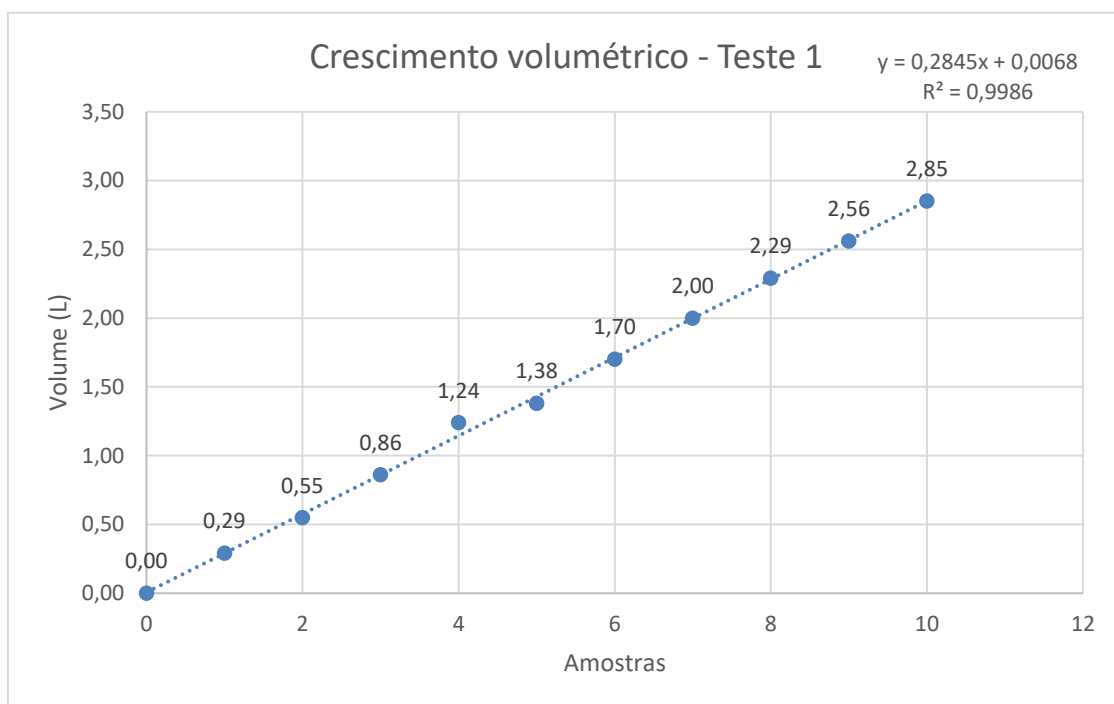
HORA	VOLUME	EVAPORAÇÃO	VOLUME TANQUE
19:08:58	0	0	6
19:09:13	0	0	6
19:09:27	0,24	0	6
19:09:41	0,25	0	6
19:09:55	0,25	0	6
19:10:08	0,41	0	6
19:10:22	0,49	0	6
19:10:36	0,49	0	6
19:11:15	0,79	0	6
19:11:33	0,84	0	6
19:11:47	0,93	0	6
19:12:11	0,99	0	6
19:12:32	1,09	0	6
19:12:53	1,11	0	6
19:14:06	1,4	0	6
19:14:17	1,4	0	6
19:14:31	1,4	0	6
19:15:19	1,68	0	6
19:16:18	1,68	0	6
19:16:31	1,68	0	6
19:16:46	1,68	0	6
19:17:15	1,94	0	6
19:17:31	1,94	0	6
19:17:44	1,94	0	6
19:18:00	1,94	0	6
19:18:13	2,03	0	6
19:18:26	2,17	0	6
19:18:40	2,17	0	6
19:18:54	2,17	0	6
19:19:07	2,17	0	6
19:19:21	2,18	0	6

19:19:34	2,4	0	6
19:19:48	2,41	0	6
19:20:02	2,64	0	6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

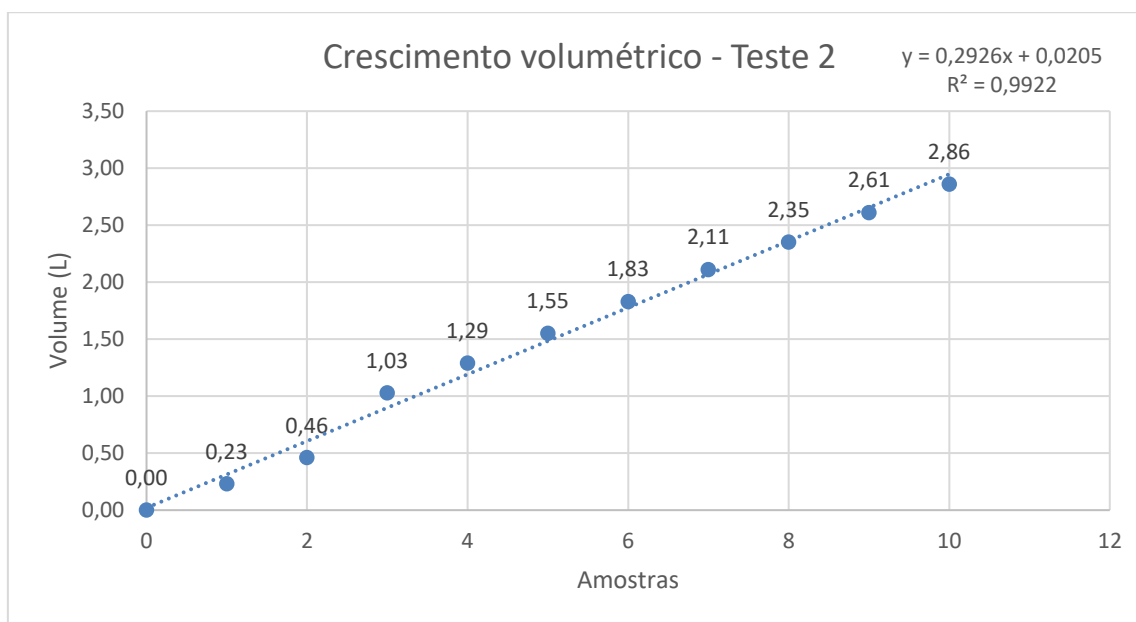
Com os resultados obtidos, foram gerados gráficos de representação da relação do volume de crescimento por amostras, para cada tabela, representados nas figuras 17, 18 e 19, sendo possível assim avaliar melhor a diferença entre as medições.

Figura 17: Gráfico de progressão do volume do teste 1.



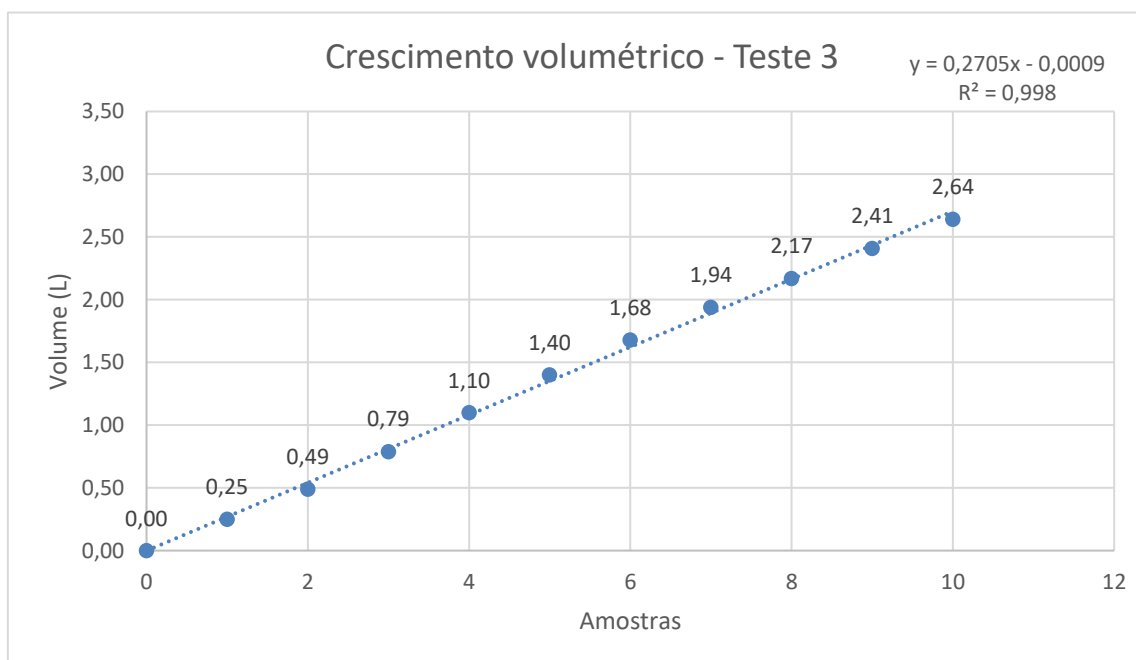
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 18: Gráfico de progressão do volume do teste 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 19: Gráfico de progressão do volume do teste 3.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Através dos dados das tabelas, também foram separados os valores finais dos volumes obtidos após cada amostra ser inserida no tanque. A tabela 7 representa tais valores, além de possuir também a média dos valores dos testes realizados.

Tabela 7: Tabela de resultados das medições volumétricas.

TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MEDIA	REAL
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,29	0,23	0,25	0,26	0,35
0,55	0,46	0,49	0,50	0,70
0,86	1,03	0,79	0,89	1,05
1,24	1,29	1,10	1,21	1,40
1,38	1,55	1,40	1,44	1,75
1,70	1,83	1,68	1,74	2,10
2,00	2,11	1,94	2,02	2,45
2,29	2,35	2,17	2,27	2,80
2,56	2,61	2,41	2,53	3,15
2,85	2,86	2,64	2,78	3,50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base nos resultados apresentados na tabela, foram gerados gráficos demonstrando a relação entre os valores obtidos pelos cálculos das medições e os valores reais que eram esperados. Além disso, foi realizado o cálculo do desvio padrão de cada teste em relação aos valores reais.

O desvio padrão relativo é uma métrica estatística que indica a variabilidade dos dados em relação à média, expressa geralmente como uma porcentagem.

Essa métrica é útil para comparar a dispersão dos dados em diferentes escalas, pois indica o quão grande é o desvio padrão em relação à média. Quanto menor o desvio padrão relativo, mais consistentes e menos dispersos são os dados.

O desvio padrão e o desvio padrão relativo de cada tabela de resultados foi calculado, no qual os valores obtidos foram representados na tabela 8.

Tabela 8: Tabela de desvio padrão dos testes.

TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO RELATIVO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
0,29	0,23	0,25	0,26	0,03	12%
0,55	0,46	0,49	0,50	0,05	9%
0,86	1,03	0,79	0,89	0,12	14%
1,24	1,29	1,10	1,21	0,10	8%
1,38	1,55	1,40	1,44	0,09	6%
1,70	1,83	1,68	1,74	0,08	5%
2,00	2,11	1,94	2,02	0,09	4%
2,29	2,35	2,17	2,27	0,09	4%
2,56	2,61	2,41	2,53	0,10	4%
2,85	2,86	2,64	2,78	0,12	4%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Valores baixos no desvio padrão significa que os valores obtidos nos testes estão bem próximos entre si, indicando que o sistema de medição tem boa consistência e reprodutibilidade.

Todos os testes têm desvios padrão próximos, variando de 0,00 a 0,12. Isso indica que os três métodos apresentam consistência semelhante, sem grandes diferenças de precisão entre eles.

Tabela 9: Tabela de erros dos testes.

AMOSTRA	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MÉDIA	REAL	ERRO RELATIVO
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
1	0,29	0,23	0,25	0,26	0,35	-27%
2	0,55	0,46	0,49	0,50	0,70	-29%
3	0,86	1,03	0,79	0,89	1,05	-15%
4	1,24	1,29	1,10	1,21	1,40	-14%
5	1,38	1,55	1,40	1,44	1,75	-18%
6	1,70	1,83	1,68	1,74	2,10	-17%
7	2,00	2,11	1,94	2,02	2,45	-18%
8	2,29	2,35	2,17	2,27	2,80	-19%
9	2,56	2,61	2,41	2,53	3,15	-20%
10	2,85	2,86	2,64	2,78	3,50	-20%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No entanto, os resultados coletados mostram que o sistema possui erros. Tais valores de erro são representados na tabela 9, levando em

consideração a média dos testes obtidos com o valor real esperado nos testes, e o cálculo do erro relativo nos valores obtidos varia entre 14% e 29%.

Tendo em vista que é desejado uma tolerância de até 14%, que representa aproximadamente 0,5 litros, os erros encontrados são considerados altos, indicando a necessidade de ajustes ou melhorias.

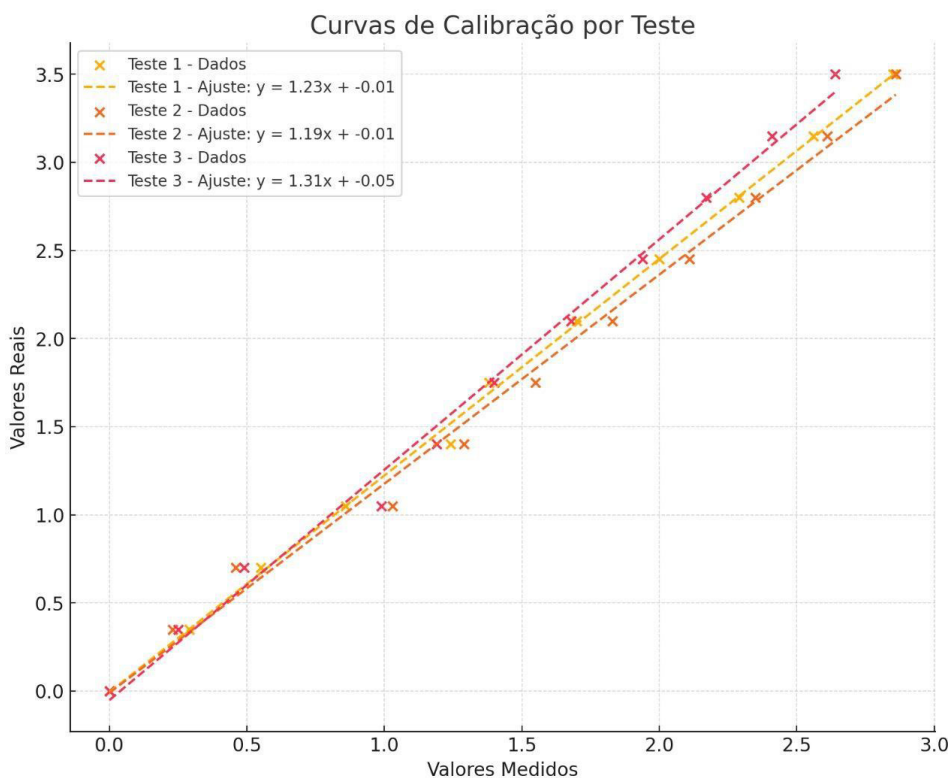
Isso sugere a necessidade de realizar uma calibração para reduzir os erros sistemáticos.

Utilizando os dados de medição e os reais, é possível plotar um gráfico de calibração do sistema.

O primeiro gráfico é a representação da curva de calibração de cada teste realizado individualmente. Para gerar as curvas foi utilizado o método de regressão linear para ajustar as equações no formato de $y - ax + b = 0$, onde y é o valor real, x são os valores medidos e b é o intercepto.

Já o segundo gráfico é a representação da curva de calibração para a média dos testes. Após realizar a média dos valores obtidos foi repetido o processo e realizado o cálculo que diminui o erro de medição no sistema.

Figura 20: Gráfico das curvas de calibração dos testes.



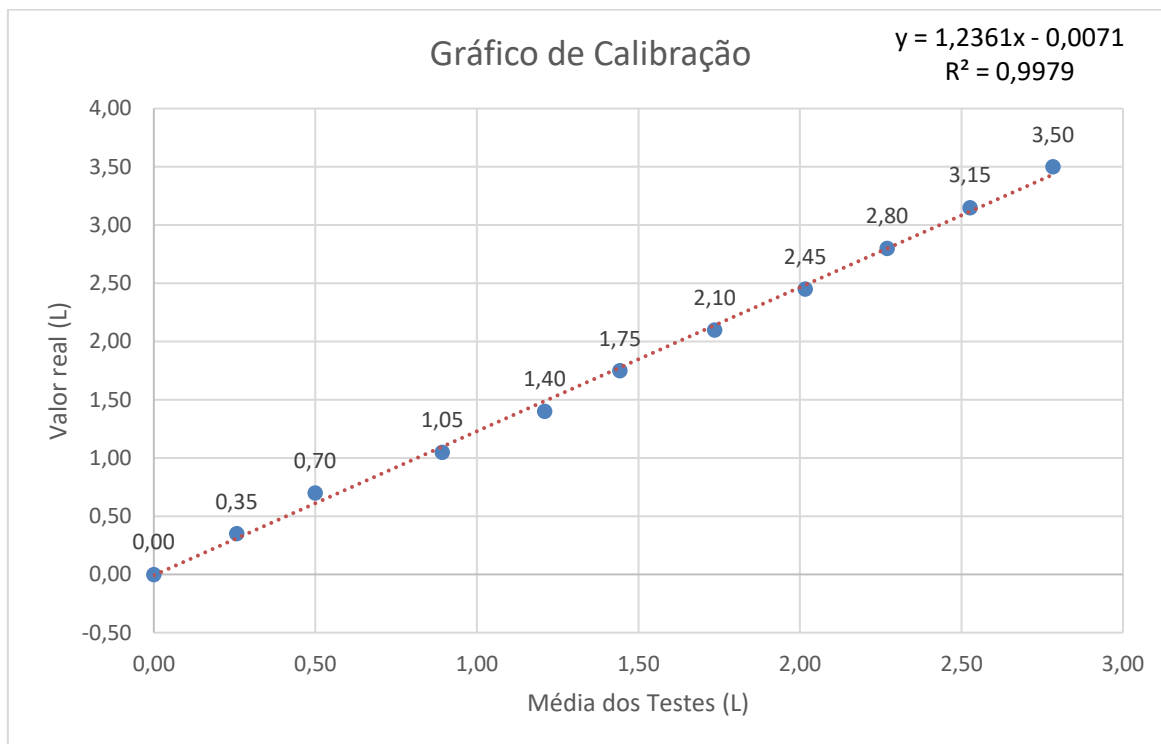
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O gráfico 20 representa 3 curvas de calibração, uma para cada teste realizado. Os valores apresentados nos eixos das abcissas e das ordenadas são respectivamente os valores medidos nos testes e os valores reais esperados como resultados, ambos usam a medida volumétrica de litros.

Pode-se observar que os dados dos três testes representados no gráfico mostram uma boa linearidade, ou seja, os valores reais aumentam proporcionalmente às medições realizadas.

Outro fator é a inclinação das curvas. Todas os testes apresentaram inclinações maiores de que 1, isso significa que o valor real aumenta mais rapidamente do que os valores das medições.

Figura 21: Gráfico da curva de calibração da média dos testes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O resultado do ajuste linear apresentado no gráfico 21 representa a equação de calibração necessária para corrigir os valores obtidos. Neste caso a equação do ajuste linear é:

$$y = 1,2361x - 0,0071 \quad (18)$$

São aplicados os valores registrados pelos testes na equação de calibração do sistema, para que os valores sejam corrigidos e aproximados ao resultado esperado.

Após realizar a calibração, os novos dados obtidos são apresentados na tabela 10, junto com a média dos valores calibrados.

Tabela 10: Tabela de resultados calibrada.

TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MEDIA	REAL
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,35	0,28	0,30	0,31	0,35
0,67	0,56	0,60	0,61	0,70
1,05	1,27	0,97	1,09	1,05
1,52	1,59	1,35	1,49	1,40
1,70	1,91	1,72	1,77	1,75
2,09	2,25	2,07	2,14	2,10
2,46	2,60	2,39	2,49	2,45
2,82	2,90	2,67	2,80	2,80
3,16	3,22	2,97	3,12	3,15
3,51	3,53	3,26	3,43	3,50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após ser realizada a calibração do sistema, foi calculado novamente o desvio padrão e o desvio padrão relativo para cada teste em relação à média, apresentado na tabela 11.

Tabela 11: Tabela de desvio padrão dos testes calibrados.

TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	DESVIO PADRÃO RELATIVO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
0,35	0,28	0,30	0,31	0,04	12%
0,67	0,56	0,60	0,61	0,06	9%
1,05	1,27	0,97	1,09	0,16	14%
1,52	1,59	1,35	1,49	0,12	8%
1,70	1,91	1,72	1,77	0,12	7%
2,09	2,25	2,07	2,14	0,10	5%
2,46	2,60	2,39	2,49	0,11	4%
2,82	2,90	2,67	2,80	0,12	4%
3,16	3,22	2,97	3,12	0,13	4%
3,51	3,53	3,26	3,43	0,15	4%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após realizar a calibração do sistema pode-se ver uma redução considerável nos desvios padrão dos testes. Isso indica que agora o sistema está mais próximo aos valores reais que estão presentes no tanque. Como conclusão sobre a calibração do sistema, a mesma foi eficaz a ponto de diminuir os erros de medição que eram gerados durante a coleta de dados de volume do tanque.

Os novos valores de erros após ser inserido a calibração do sistema, são apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Tabela de erros dos testes calibrados.

AMOSTRA	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	MÉDIA	REAL	ERRO RELATIVO
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
1	0,35	0,28	0,30	0,31	0,35	-11%
2	0,67	0,56	0,60	0,61	0,70	-13%
3	1,05	1,27	0,97	1,09	1,05	4%
4	1,52	1,59	1,35	1,49	1,40	6%
5	1,70	1,91	1,72	1,77	1,75	1%
6	2,09	2,25	2,07	2,14	2,10	2%
7	2,46	2,60	2,39	2,49	2,45	2%
8	2,82	2,90	2,67	2,80	2,80	0%
9	3,16	3,22	2,97	3,12	3,15	-1%
10	3,51	3,53	3,26	3,43	3,50	-2%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Posteriormente, foi feito um teste para verificar o fator da perda de água por evaporação. Durante 24 horas foram coletados dados com o tanque em repouso. Os resultados obtidos foram nulos. Isso pode se explicar pelo protótipo ter sido testado em um ambiente coberto sem a presença de sol e vento.

Durante os testes realizados no sistema, foi identificado um problema relacionado ao nível do tanque. Embora a vazão de entrada e saída tenham sido projetadas para ser iguais, foi necessário reduzir manualmente a vazão de entrada, utilizando um registro hidráulico, para compensar a elevação do nível do tanque, que aumentou durante a inserção das amostras de teste.

O nível de um tanque aumenta mesmo quando a vazão de entrada e saída de água é igual porque, ao inserir volume diretamente no tanque, você está adicionando água ou algum outro material (como materiais de volume conhecido, no caso do seu protótipo) que não está contabilizado no equilíbrio das vazões.

Equilíbrio das vazões: Quando a vazão de entrada (quantidade de água entrando por unidade de tempo) é igual à vazão de saída, o nível do tanque tende a permanecer estável, assumindo que não há outros fatores alterando o volume de água no tanque.

Adição de volume externo: Quando um volume adicional é introduzido diretamente no tanque, como água ou objetos, ele ocupa espaço no interior do tanque. Esse volume adicional aumenta o nível da água porque o tanque não pode expelir automaticamente essa quantidade extra de forma instantânea.

Como o sistema foi projetado para manter o nível estável apenas com base no equilíbrio das vazões de entrada e saída, ele não consegue compensar a adição de volume externo.

Conseqüentemente, o nível do tanque sobe até que as condições sejam ajustadas, por exemplo, reduzindo manualmente a vazão de entrada ou aumentando a saída.

Para resolver essa questão de forma mais eficiente, seria necessário um controle dinâmico que detecte alterações no nível do tanque e ajuste automaticamente a vazão de entrada ou saída.

Pode-se criar um sistema de controle automático da vazão para ajustar dinamicamente o nível do tanque conforme os peixes crescem. Esse sistema

pode utilizar um controle PI (Proporcional, Integral) para regular a vazão de entrada de acordo com a medição do nível de água.

Para criar esse sistema, seria necessário utilizar:

- Um sensor ultrassônico ou sensor de pressão para medir o nível da água.
- Os fluxostatos YF-S201 já usados para monitorar a vazão.
- Uma válvula solenoide proporcional ou um servo motor controlando um registro hidráulico para ajustar a vazão de entrada.
- Implementação de um PID no ESP32 para regular a vazão conforme o nível do tanque muda.

Quando os peixes crescerem e ocuparem mais volume, o sistema reduz automaticamente o fluxo de entrada para manter o nível correto.

A malha de controle do sistema pode ser representada como um sistema de controle em malha fechada, onde um controlador PI ajusta automaticamente a vazão para manter o nível do tanque dentro do valor desejado.

6. CONCLUSÃO

Os testes realizados para medir a simulação do crescimento de peixes em um tanque utilizando volumes conhecidos e sensores de fluxo YF-S201 inicialmente apresentou uma boa linearidade, porém a precisão dos resultados era ruim, com erros variando entre 14% e 29%. Diversos fatores, como tolerâncias de fabricação dos sensores utilizados, posicionamento inadequado de instalação dos sensores, variações de pressão e vazão, bolhas de ar e ruído elétrico, podem ter contribuído para esse desvio.

O código implementado foi capaz de coletar dados dos sensores e calcular o volume adicionado no tanque com base no fluxo de entrada e saída de água, utilizando o Princípio de Arquimedes. O uso do ESP32 permitiu uma integração eficiente dos sensores e a conexão com a internet para envio dos dados a uma planilha remota via Google Scripts. A evaporação foi nula, devido à curta duração do teste, o que simplificou os cálculos de volume, entretanto, o modelo de Penman é um modelo amplamente utilizado e considerado confiável para estimar a taxa de evaporação de água, especialmente em estudos de recursos hídricos, meteorologia e agricultura. No entanto, a confiabilidade do modelo depende de alguns fatores, como a necessidade de dados precisos. A precisão das estimativas depende diretamente da qualidade e disponibilidade dos dados meteorológicos, como radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.

Os resultados obtidos indicaram imprecisões na leitura dos sensores e destacaram a necessidade de melhorias no sistema, incluindo a implementação de um controle dinâmico capaz de detectar alterações no nível do tanque e ajustar automaticamente a vazão de entrada ou saída. Ainda assim, com a utilização de uma equação de calibração, o sistema demonstrou ser viável para identificar variações volumétricas de água no tanque.

Em um ambiente real de piscicultura, o sistema desenvolvido pode servir como base para calcular o crescimento dos peixes. Contudo, para garantir sua eficácia, é necessário realizar ajustes mais detalhados na calibração, optar por sensores mais robustos e mitigar fatores externos, como interferências elétricas, perdas não calculadas (ex.: dejetos gerados pelos peixes) e grandes variações de temperatura. Além do mais, é de suma importância, que sejam realizados

testes em ambientes reais para que todos os fatores externos possam ser considerados de forma correta.

Com as melhorias apresentadas, o protótipo possui potencial para evoluir em uma solução confiável e eficaz, adequada ao monitoramento automático do crescimento dos peixes em sistemas comerciais de criação.

REFERÊNCIAS

BETANCUR, Lisbeth Haydee Rivera. **Solución IoT optimización del proceso de piscicultura**. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, 2020. Disponível em: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23368>. Acesso em 16 set. 2024.

DE MELLO, Marcelo Rodrigo. **Controle nutricional na piscicultura por meio de uma ferramenta computacional**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Paraná, 2016. Disponível em: <https://lactec.org.br/wp-content/uploads/2019/11/MarceloRodrigodeMello-VF.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

DE MENEZES, Camila Souza Magela. **Automação do manejo alimentar na Engorda de tilápias criadas em tanque-rede**. Universidade Estadual Paulista Campus de Botucatu, Botucatu – São Paulo, 2014. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_af9b5a2bbb8bf979ad3f833e7caf1585. Acesso em: 14 out. 2024.

DOS SANTOS, Monique Virões Barbosa; DOMICIANO, Carlos Alberto Ramos; ROCHA, Fabiano da Guia; DE LIMA, Cristian Jacques Bolner; DE JESUS, Lázaro Alecrim; MOURA, Joeder Rodrigues França. **Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura**. IFMT - Instituto Federal do Mato Grosso, Mato Grosso, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Ramos_Domiciano/publication/340006356_Desenvolvimento_de_Sistema_Automatico_de_Analise_de_pH_e_Temperatura_da_Agua_para_Aquicultura/links/5e7290294585152cdbfd555a/Desenvolvimento-de-Sistema-Automatico-de-Analise-de-pH-e-Temperatura-da-Agua-para-Aquicultura.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

GUETTER, Alexandre K. **Hidráulica e Hidrologia Experimental**. UFPR – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Curitiba, 2016. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~andre.dhs/TH027/Instru%C3%A7%C3%B5es_Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 27 nov. 2024.

GUIMARÃES, Kevin Manoel; LOHMANN, Daniel. **Automação de tanques para aquicultura**. Revista Ilha Digital, Volume 6, p. 34–47, 2017. Disponível em <http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/92/71>. Acesso em: 20 set. 2024.

HELAL, Alan Afif; COLISTETE JÚNIOR, Roberto; GARCIA, Fábio da Cunha; BARROSO, Gilberto Fonseca; VILLAÇA, Rodolfo da Silva. **Proposta de solução integrada de hardware, software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental**, SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE (SEMISH), Natal, 2018. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/semish/article/view/3432>. Acesso em: 08 set. 2024.

INFIWIN. **PYR20-Solar Radiation/Pyranometer Sensor, RS485, Modbus**, China, 2019. Disponível em: <https://www.infwin.com/pyr20-solar-radiation-pyranometer-sensor-rs485-modbus/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

JUNIOR, Wilmar Borges Leal; LANDIN, Nailson Martins Dantas; NUNES, Robert Mady; DE ARAUJO, Humberto Xavier. **Projeto de um sistema de automação para piscicultura utilizando Internet das Coisas (IoT)**, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Tocantins, 2019. Disponível em: <artigo_wilmar_revisado.pdf (semanaacademica.com.br)>. Acesso em: 22. set. 2024.

LOUSADA, Ricardo. **Guia completo sobre sensor de temperatura de água**. BLOG ELETROGATE, 2020. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>. Acesso em: 29 de nov. de 2024.

LOUSADA, Ricardo. **Guia prático do sensor de fluxo de água**. BLOG ELETROGATE, 2021. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua/>. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

MEDRI, Vandir. **Técnicas de controle de qualidade utilizadas na criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Acta Scientiarum, 1998. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/4471>. Acesso em: 17 set. 2024.

MELO, J.S.C. **Aspectos quantitativos do crescimento do Híbrido Tambacu (fêmea de *Colossoma macropomum* x macho de *Piaractus mesopotamicus*) sob condições de criação intensiva**. Florianópolis, 1993. (Master's Thesis in Aquaculture) - Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_48a14874f899e95da503c122fa9a94b0. Acesso em: 23 set. 2024.

MILANEZ, Artur Yabe; GUIMARÃES, Diego Duque; MAIA, Guilherme Baptista da Silva; MUÑOZ, Andrea Elena Pizarro; PEDROZA FILHO, Manoel Xavier. **Potencial e barreiras para a exportação de carne de tilápia pelo Brasil**. Embrapa Pesca e Aquicultura, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108585/potencial-e-barreiras-para-a-exportacao-de-carne-de-tilapias-pelo-brasil>. Acesso em: 09 set. 2024.

MURTA, José Gustavo A. **Conhecendo o ESP32 – Introdução**. BLOG ELETROGATE, 2018. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

MURTA, José Gustavo A. **Sensores DHT11 e DHT22: Guia Básico dos Sensores de Umidade e Temperatura**. BLOG ELETROGATE, 2019. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

P. SANTOS, Bruno. **Internet das coisas: de teoria à prática**. Departamento de Ciência da Educação, Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <internet-das-coisas.pdf (ufmg.br)>. Acesso em: 14 out. 2024.

PEIXE BR, **Associação Brasileira de Piscicultura**. **Exportação de peixes de cultivo aumentam 32,8% no primeiro trimestre de 2020**. 11 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/exportacoes-de-peixes-de-cultivo-aumentam-328-no-1o-trimestre-de-2020/>. Acesso em: 23 set. 2024.

OLIVEIRA, Léo de. **Manual da qualidade da água para aquicultura**, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/1743436/Manual+Qualidade+%C3%81gua+Aquicultura.pdf>. Acesso em: 05 set. 2024.

APÊNDICE A

- Tabela do Google:
<<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tOIXfOObuFANxafuND-8csjID8EkEwZQPBz0cXXDMjo/edit#gid=0>>
- Código de programação do ESP32:

```
#include <HTTPClient.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <esp_task_wdt.h>

const char* ssid = "ZTE_DB5A"; // your network SSID (name of wifi
network)
const char* password = "9tYNi4fdWN"; // your network password
char *server = "script.google.com"; // Server URL
#define ONE_WIRE_BUS 4
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT11
#define sensorF1 15
#define sensorF2 14
#define sensorRs 34

const int httpsPort = 443;

volatile float Tx_cresc;
volatile float Vp;
volatile float Vt;

TaskHandle_t Task1; // Task handle for Task1
TaskHandle_t Task2; // Task handle for Task2

WiFiClientSecure client;

double Calc_Vazao_Entrada, Calc_Vazao_Saida;
volatile int contador_1, contador_2;
double Fluxo_Entrada, Fluxo_Saida;
float humidity, temperature;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```

void connect_wifi() {
  Serial.println("Connecting to WiFi...");
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("Connected to WiFi!");
  Serial.print("IP Address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void funcao_ISR_entrada() {
  contador_1++;
}

void IRAM_ATTR funcao_ISR_saida() {
  contador_2++;
}

void Task1code(void * pvParameters) {
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 4
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT11
#define sensorF1 15
#define sensorF2 14
#define sensorRs 34

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

sensors.begin();
pinMode(sensorF1, INPUT);
attachInterrupt(sensorF1, funcao_ISR_entrada, RISING);
pinMode(sensorF2, INPUT);
attachInterrupt(sensorF2, funcao_ISR_saida, RISING);
analogReadResolution(12);

for (;;) {

  sensors.requestTemperatures();
  float sensorT2 = sensors.getTempCByIndex(0); // Water temperature

```

```

// Calculate water flow

//desabilitando ainterrupções temporariamente para calcular a vazão
de forma segura
noInterrupts();
Calc_Vazao_Entrada = (contador_1*2.25);
Fluxo_Entrada = Calc_Vazao_Entrada/1000; // In liters

Calc_Vazao_Saida = (contador_2*2.25);
Fluxo_Saida = (Calc_Vazao_Saida/1000); // In liters

// Reset os contadores
contador_1 = 0;
contador_2 = 0;
//Reabilitando as interrupções
interrupts();

// calculo de radiação solar global
int sensorValue = analogRead(sensorRs);
float voltage = sensorValue * (3.3 / 4095.0);
float current = voltage / 165.0;
float Rad_solar = (2000 * (current - 4) / 16)*0.0864;//convertendo W/m²
para MJ/m²/dia

// Air Humidity and Temperature
float Rh = dht.readHumidity();
float sensorT1 = dht.readTemperature();

// Solar Evaporation Rate
float Er = (Rad_solar / (2496000 * 1000)) * 1000 * 86400;

// Wind Evaporation Rate (Need to define parameters and variables)
float Vel_v = 0; // Placeholder for wind speed
float ea, eas, par, B, Ea;
int Zlocal = 830;
const float K = 101238313.6;
const float p = pow(10, 5);

eas = 0.6108 * exp((17.27 * sensorT1) / (237.3 + sensorT1));
ea = eas * (Rh / 100);
par = 353.4 * pow((1 - Zlocal / 45271), 5.264) / (273.15 + sensorT1);
B = pow(K, 2) * (par / 1000) * 0.622 * Vel_v / (p * pow(log(2 / 0.1), 2));
Ea = B * (eas - ea) * 1000 * 86400;

// Combined Evaporation Rate
float y = (1005 * p) / (0.622 * 2496000);
float delta = (4098 * eas) / pow((237.3 + sensorT1), 2);
float Ec = (delta / (delta + y)) * Er + (y / (delta + y)) * Ea;
Ec = Ec / 86400;

```

```

// Evaporation Loss
float Vp;
const float At = 0.0491; // Example area, needs actual value
Vp += (At * Ec);

// Tank Growth Rate
float Va;
Vt = 8.0; // Example volume, needs actual value
Va = 8 + Fluxo_Entrada - Fluxo_Saida; // - Vp;
Tx_cresc += 8 - Va;

Serial.println("Task1 running on core: " + String(xPortGetCoreID()));
delay(1000);
}
}

void Task2code(void * pvParameters) {
    char *GScriptId =
    "AKfycbyNSU5pjngTkGBGRVSSWBAfloQ2Jv6wtKBHlgDfyAVyEA9NWE
    Xboi-rhH5nF-pGpqNQNQ"; //planilha teste
    float tempoEnvio = 5000;

    for (;;) {

        HTTPClient http;
        delay(tempoEnvio);

        String (url) = String("https://script.google.com") + "/macros/s/" +
        GScriptId + "/exec?" + "value1=" + Tx_cresc + "&value2=" + String(Vp,2)
        + "&value3=" + Vt; // - Vp;;

        delay(tempoEnvio);

        Serial.print("Making a request");
        http.begin(url.c_str()); //Specify the URL and certificate
        http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);
        int httpCode = http.GET();
        String (payload);
        if (httpCode > 0) { //Check for the returning code
            payload = http.getString();

            Serial.println(httpCode);
            Serial.println(payload);

        }
        else {
            Serial.println("Error on HTTP request");
        }
    }
}

```

```

}
http.end();
}
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  connect_wifi();

  xTaskCreatePinnedToCore(Task1code, "Task1", 10000, NULL, 1,
&Task1, 0);
  xTaskCreatePinnedToCore(Task2code, "Task2", 10000, NULL, 1,
&Task2, 1);
}

void loop() {
  //disableCore0WDT();
  esp_task_wdt_reset();
  delay(1000);
}

```

- Código do Google Script:

```

function doGet(e) {
  Logger.log( JSON.stringify(e) ); // view parameters
  var result = 'Ok'; // assume success
  if (e.parameter == 'undefined') {
    result = 'No Parameters';
  }
  else {
    var sheet_id = '1tOIXfOObuFANxafuND-
8csjID8EkEwZQPBz0cXXDMjo'; // Spreadsheet ID
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getActiveSheet(); //
get Active sheet
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];
    d = new Date();
    rowData[0] = d; // Timestamp in column A
    rowData[1] = d.toLocaleTimeString(); // Timestamp in column A

    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param=' + param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
      switch (param) {
        case 'value1': //Parameter 1, It has to be updated in Column in
Sheets in the code, otherwise
          rowData[2] = value; //Value in column A
          result = 'Written on column A';
          break;

```

```
        case 'value2': //Parameter 2, It has to be updated in Column in
        Sheets in the code, otherwise
            rowData[3] = value; //Value in column B
            result += ' Written on column B';
            break;
        case 'value3': //Parameter 3, It has to be updated in Column in
        Sheets in the code, otherwise
            rowData[4] = value; //Value in column C
            result += ' Written on column C';
            break;

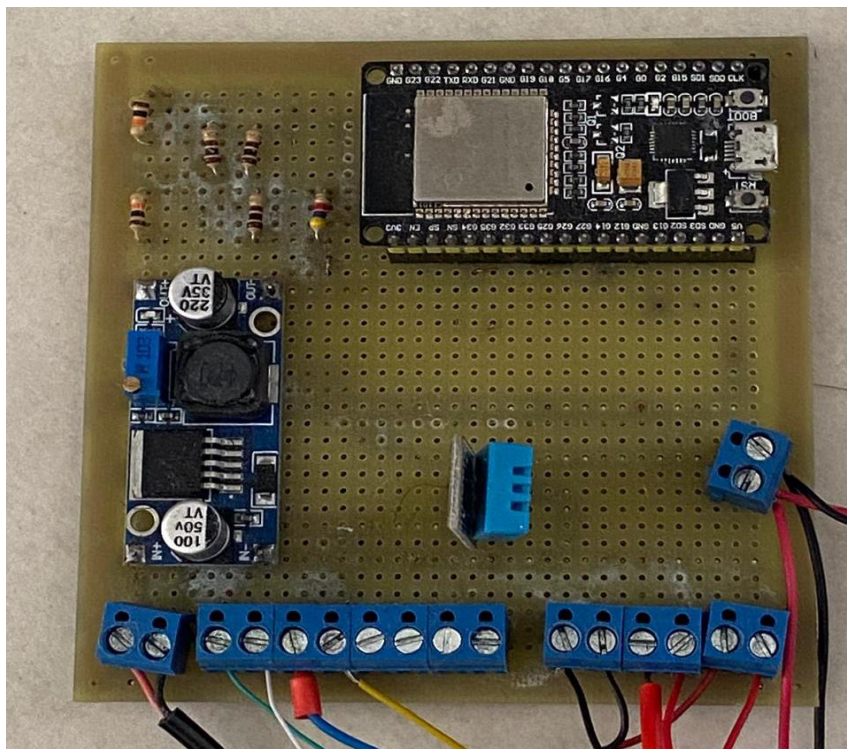
        break;
    default:
        result = "unsupported parameter";
    }
}
Logger.log(JSON.stringify(rowData));
// Write new row below
var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
newRange.setValues([rowData]);
}
// Return result of operation
return ContentService.createTextOutput(result);
}
function stripQuotes( value ) {
    return value.replace(/^["]|["]$/g, "");
}
```

Figura 22: Planta de simulação do tanque.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 23: Placa de circuito do protótipo da planta.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.