

Final Report

**Submitted to the Embedded Systems Competition
(ESC)
of SBESC 2024**

**Project Title: Sistema em Tempo Real de
Monitoramento Qualidade de Água e
Prevenção de Mosquitos**

**Students: Arthur Roberto da Silva, David Gabriel de
Albuquerque Alves, William Marreiro Brito**

Professor: Marcelo Martins da Silva

University: Universidade Federal do Ceará

JEMS ID: 242995

Link to video:

<https://drive.google.com/file/d/1bSBI8wzePMI8v7pTK2D13w7NRVEjT0vG/view?usp=sharing>

Declaration of Originality

We hereby declare that this report and the work reported herein was composed and originated entirely by ourselves. Information derived from the published and unpublished work of others has been acknowledged in the text and a list of citations is given in the references section

Professor's Signature: _____

Name (in Block Letters): MARCELO MARTINS DA SILVA

Student's Signature: Arthur Roberto da Silva

Name (in Block Letters): ARTHUR ROBERTO DA SILVA

Student's Signature: _____

Name (in Block Letters): DAVID GABRIEL DE ALBUQUERQUE ALVES

Student's Signature: William Marreiro Brito

Name (in Block Letters): WILLIAM MARREIRO BRITO

Date: 18/11/2023

Abstract

A água da chuva é uma fonte vital de abastecimento para diversas comunidades, especialmente no Nordeste brasileiro, onde o armazenamento de água pluvial em cisternas é uma prática comum para uso doméstico. No entanto, a qualidade dessa água armazenada pode ser comprometida devido a fatores como contaminação por poluentes e falta de oxigenação, criando ambientes favoráveis à proliferação de mosquitos, que podem transmitir doenças como dengue, zika e chikungunya. Este projeto propõe uma solução integrada que combina sensores de baixo custo com tecnologia de IoT (Internet das Coisas) para monitorar, em tempo real, parâmetros essenciais da qualidade da água, como pH, turbidez, temperatura e sólidos totais dissolvidos (TDS). O sistema, baseado em um microcontrolador ESP32 com comunicação LoRa e suporte a energia solar, permite a coleta e transmissão de dados sobre a qualidade da água armazenada. Quando detectadas condições inadequadas, o sistema aciona aeradores automaticamente, melhorando a qualidade da água ao promover a oxigenação, o que ajuda a controlar a proliferação de microorganismos indesejados e, consequentemente, a prevenir o surgimento de mosquitos. Com essa abordagem, o projeto não só contribui para a segurança hídrica das comunidades, assegurando que a água esteja adequada para uso doméstico, como também promove uma solução sustentável e de baixo custo, adaptada às condições regionais. Essa combinação de monitoramento contínuo e estratégias preventivas melhora a saúde pública e reduz os riscos de doenças associadas à água parada.

Keywords: Water contamination, sustainable technology, remote water management, solar-powered systems, environmental health.

Content

Content	4
1. Introduction	5
2. System Description	6
2.1 Overview	6
2.1.1. Hardware Proposto	7
2.2. Requisitos	8
3. System Implementation	10
3.1 Architecture and Software	10
3.1.1 Sensors, Actuators and Modules	10
3.1.1.1 Total Dissolved Solids (TDS)	11
3.1.1.2 Turbidity	11
3.1.1.3 Potential of Hydrogen (pH)	11
3.1.1.5 Long Range (LoRa)	11
3.1.1.6 ESP32 microcontroller	11
3.1.1.7 Placa de circuito impresso	12
3.1.1.7 Battery manager	12
3.1.1.8 Aerator controller	13
3.2 WEB View	13
3.2.1 HTTP Protocol	13
3.2.2 Google Sheets	13
3.3. Development platform	14
4. Results	14
4.1. Calibration and experiments	14
4.2. Results	16
5. Innovation	16
6. Conclusion	18
References	19

1. Introduction

A água é vital para a vida na Terra e atende diversas necessidades, incluindo residenciais, agrícolas e industriais [1]. Contudo, a qualidade da água tem sido comprometida pelo crescimento populacional, que impulsiona a urbanização, industrialização e uso excessivo dos recursos naturais [2]. Como consequência, houve um aumento substancial na quantidade de esgoto doméstico e industrial despejado diretamente nos ecossistemas aquáticos urbanos [3, 4, 5]. Aproximadamente 80% das águas residuais provenientes das atividades humanas são lançadas nos corpos hídricos sem qualquer tratamento para remoção de poluentes.

A presença de água contaminada pode criar ambientes propícios para a proliferação de mosquitos, que são vetores de várias doenças, como dengue, zika e chikungunya. No Brasil, a qualidade da água e a prevenção da proliferação de mosquitos são cruciais para a saúde pública. De acordo com a Agência Brasil, em 2024, o Brasil registrou 1.601 óbitos confirmados por dengue, além de outras duas mil mortes sob investigação que podem ter sido causadas pela doença, totalizando 3,6 mil mortes confirmadas ou suspeitas até o momento[14].

Remover esses poluentes é um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela humanidade, pois requer recursos financeiros significativos para desenvolver e implementar tecnologias de remediação [9]. Um método eficaz para avaliar a qualidade da água é o monitoramento dos aspectos químicos e físicos nos ambientes aquáticos. Por meio dessa análise, é possível identificar indicadores da qualidade da água e os impactos urbanos sobre esses ecossistemas [6].

O telemonitoramento da qualidade da água é uma solução promissora para enfrentar esses desafios. Utilizando redes de sensores e tecnologias de comunicação, é possível monitorar remotamente os parâmetros críticos da água em tempo real. Isso permite a detecção imediata de contaminações e mudanças na qualidade da água, possibilitando ações rápidas e eficazes para mitigar os impactos ambientais e prevenir a proliferação de mosquitos. Além disso, o telemonitoramento pode reduzir os custos operacionais e aumentar a eficiência das ações de remediação, tornando-se uma ferramenta essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Uma abordagem inovadora para monitorar esses aspectos é o uso de dispositivos inteligentes que captam, registram e enviam informações em tempo real. A Internet das Coisas (IoT) tem um grande potencial para ser explorada em diversas áreas, especialmente na integração com sistemas de monitoramento em tempo real de sensores. A evolução da IoT tem contribuído significativamente para o

desenvolvimento e otimização da pesquisa de campo. Com a IoT, é possível obter medições físicas e químicas por meio da leitura de sensores que identificam padrões específicos, ajudando a controlar e prevenir a proliferação de mosquitos e proteger a saúde pública.

Nesse sentido, o projeto visa desenvolver um sistema embarcado para monitorar a qualidade da água em tempo real e implementar estratégias preventivas contra a proliferação de mosquitos. Utilizando o microcontrolador ESP32, o sistema oferecerá comunicação LoRa (Long Range) e Wi-Fi, permitindo a transmissão de dados de qualidade da água e ativação de mecanismos preventivos de forma eficiente.

O sistema proposto se aplica às seguintes áreas: Caixas d'água de coleta de chuva; Monitoramento contínuo da qualidade da água coletada para uso doméstico; Áreas agrícolas: Gerenciamento da qualidade da água para irrigação e consumo animal, garantindo práticas agrícolas seguras; Zonas urbanas e rurais propensas a alagamentos: Monitoramento e prevenção da formação de água parada, evitando a proliferação de mosquitos; Corpos d'água urbanos e rurais: Controle e monitoramento da qualidade da água em rios, lagos e lagoas.

2. System Description

2.1 Overview

Este projeto tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma solução embarcada que tem a função monitorar a qualidade da água em tempo real e implementar estratégias preventivas contra a proliferação de mosquitos. O sistema funciona baseado no monitoramento das características físico-químicas da água e na coleta de dados através da utilização de sensores para saber informações sobre pH, Turbidez e sólidos totais dissolvidos (TDS), dessa maneira de acordo com os dados coletados o sistema irá ativação de mecanismos preventivos de forma eficiente. Na figura 1 se encontra a imagem da visão geral do sistema proposto.

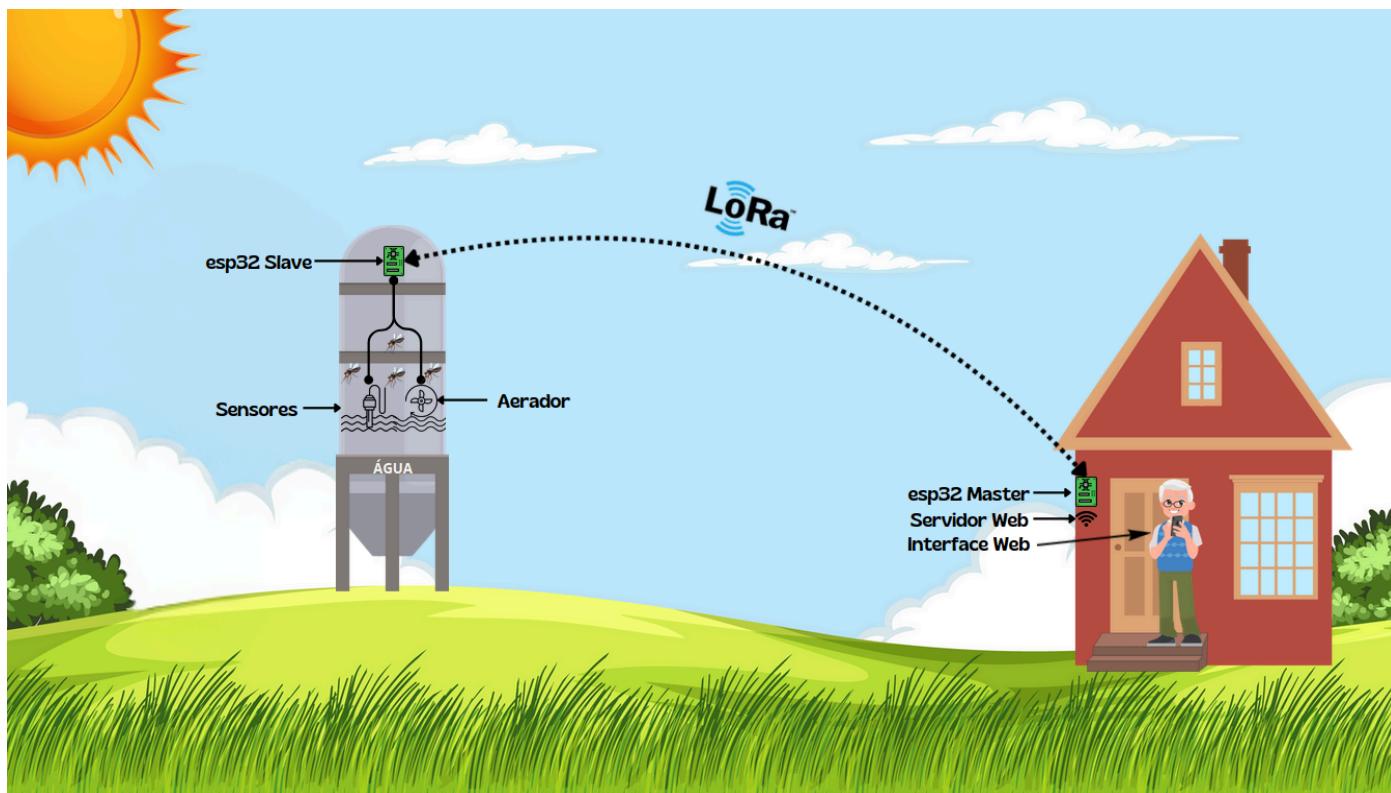


Figura 1: Imagem ilustrativa da aplicação do projeto

2.1.1. Hardware Proposto

O Projeto é dividido em dois tipos de módulos. O módulo na qual realizará a leitura dos sensores, que aqui receberá o nome de **Slave**. Este módulo será responsável pela leitura e envio dos parâmetros da água e pela ativação dos aeradores: dispositivos que previnem a condição da água parada e oxigenam a água. O mesmo também utiliza energia solar e baterias para seu pleno funcionamento nas diversas condições de instalação. No projeto, estes dispositivos atuam como nós na rede LoRa, pois incluem sensores e atuadores e controlam dispositivos com base em comandos recebidos. Por fim, o módulo que irá receber os dados de leitura e ser responsável pela aplicação, aqui receberá o nome de **Master**. É responsável por receber os dados e a condição da água do *slave* e exibir os parâmetros em um display oled. Os dados também podem ser visualizados pelo site. Também possui um *buzzer* para aviso de qualquer irregularidade. Este dispositivo atua como servidor da rede LoRa, isto é: processa os dados, gerêncie e os fornece para a aplicação. Confira a Figura 2 abaixo:

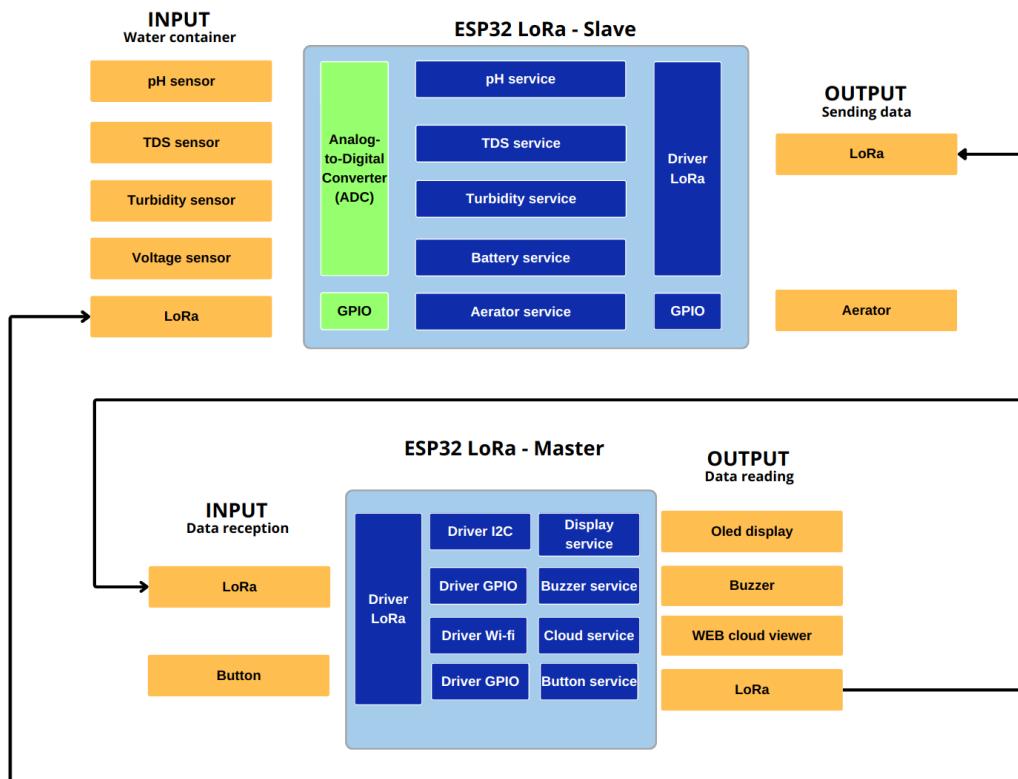


Figura 2: Arquitetura

Segue abaixo as tabelas com a listagem de componentes e suas respectivas funções.

Módulo slave	
Componente	Função
Placa ESP32 devkit v4	Responsável pelo processamento de dados dos sensores e transmissão dos mesmos.
Sensor de pH da água	Mede o nível de acidez ou alcalinidade da água.
Sensor de Turbidez da água	Avalia a quantidade de partículas suspensas na água, indicando a clareza da água.
Sensor de TDS da água	Mede a concentração de sólidos dissolvidos na água, importante para avaliar a pureza da água.
Aeradores e relé	Motores que misturam a água e o ar, prevenindo a formação de água parada.
Fonte de energia: <ul style="list-style-type: none"> - Painéis solares - Módulo de controle de carga de bateria - Bateria de Lítio 	Os painéis fornecem energia para o sistema, as baterias permitem o funcionamento durante períodos de baixa incidência solar. O módulo de carga permite o controle automático da carga da bateria.
Sensor de tensão	Mede a tensão da bateria e envia para o Master.

Módulo master

Componente	Função
Placa ESP32 devkit v4	Fazer todo o processamento dos dados recebidos, exibi-los no display e enviá-los à nuvem.
Módulo LoRa Radioenje	Recebe os dados transmitidos pelo slave
Display Oled	Exibe os menus e leituras
Botão direcional	Alternar entre os menus
Buzzer	Alerta ao usuário alguma irregularidade na condição da água.

2.2. Requisitos especificação

Para facilitar a busca e referência de requisitos, será adotada uma convenção para cada tipo de requisito. Os requisitos funcionais serão representados no formato [RFxx] e os requisitos não funcionais no formato [NFRxx], onde “RF” e “NFR” são as siglas para cada tipo. **Prioridades dos Requisitos:**

Um requisito pode ser classificado como:

- **Essencial:** É o requisito funcional indispensável ao funcionamento do sistema. Esse tipo de requisito deve ser implementado impreterivelmente.
- **Importante:** Sem esse requisito funcional, o sistema ainda é capaz de ser utilizado. Contudo, essa utilização ocorre de forma não satisfatória para o cliente.
- **Desejável:** Esse tipo de requisito funcional poderá ser implementado em versões posteriores do sistema, visto que, mesmo sem sua implementação, o sistema atende as suas funcionalidades básicas.

Requisitos Funcionais

Identificação:	[RF01]		
Descrição:	Medição de parâmetros essenciais da qualidade da água: pH.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[RF02]		
Descrição:	Medição de parâmetros essenciais da qualidade da água: turbidez.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[RF03]		
Descrição:	Medição de parâmetros essenciais da qualidade da água: temperatura.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável

Embedded Systems Competition 2024

Identificação:	[RF04]		
Descrição:	Medição de parâmetros essenciais da qualidade da água: sólidos totais dissolvidos (TDS);		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[RF05]		
Descrição:	Processamento das informações de medição para preparação do envio de informações		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[RF06]		
Descrição:	Controle dos Aeradores para agitação da água quando detectadas condições favoráveis para a proliferação de mosquitos.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[RF07]		
RER:	[NRF03]		
Descrição:	Enviar dados coletados via rede LoRa para um dispositivo Master no qual centralizará os dados e permitirá conexão web.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável

2.1.2 Requisitos Não Funcionais

Identificação:	[NRF01]		
Descrição:	Projetado para operar em condições ambientais adversas, incluindo exposição à água e altas temperaturas.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[NRF02]		
Descrição:	Consumo de energia do equipamento.		
Prioridade:	<input type="checkbox"/> Essencial	<input checked="" type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[NRF03]		
Descrição:	Conexão de rede.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[NRF04]		
Descrição:	Capacidade de adaptação a diferentes ambientes, desde caixas d'água para coleta de chuva até áreas agrícolas e zonas propensas a alagamentos.		
Prioridade:	<input checked="" type="checkbox"/> Essencial	<input type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[NRF05]		
Descrição:	Baixo custo.		
Prioridade:	<input type="checkbox"/> Essencial	<input checked="" type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável

Identificação:	[NRF06]		
Descrição:	Interface amigável para configuração e monitoramento, adequada para usuários sem treinamento técnico avançado		
Prioridade:	<input type="checkbox"/> Essencial	<input checked="" type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável
Identificação:	[NRF07]		
Descrição:	Minimização do consumo de energia para garantir operação prolongada com recursos limitados.		
Prioridade:	<input type="checkbox"/> Essencial	<input checked="" type="checkbox"/> Importante	<input type="checkbox"/> Desejável

3. System Implementation

3.1 Architecture and Software

Descrição do Software Embarcado: 1: O firmware do ESP32 controla os sensores do sistema, coletando dados de qualidade da água e status de operação, processando-os localmente para ações preventivas, como a ativação de bombas, e transmitindo-os para servidores centrais para armazenamento e análise; 2: A comunicação utiliza a rede LoRa, garantindo longo alcance e baixo consumo de energia, ideal para interconectar dispositivos distribuídos e uma unidade central em grandes áreas; 3: O monitoramento e a visualização dos dados são realizados no Google Sheets, alimentado por requisições HTTP feitas pela ESP32 para scripts no Google Apps Script, que inserem os dados automaticamente na planilha, destacando condições críticas e registrando o histórico para análise.

3.1.1 Sensors, Actuators and Modules

O sistema é composto por sensores de TDS, turbidez, pH e umidade, além de um aerador conectado a um relé. Dois microcontroladores ESP32, equipados com módulos LoRa da Radioenge, coordenam a coleta e transmissão de dados. Os sensores estão conectados ao sistema por meio do módulo ADS1115, que possui quatro canais analógicos, sendo cada canal dedicado a um sensor específico.

3.1.1.1 Total Dissolved Solids (TDS)

O sensor de TDS, instalado no módulo slave, mede continuamente a concentração de sólidos dissolvidos na água, como sais e minerais, com base na condutividade elétrica. A leitura em tensão é convertida em ppm (partes por milhão) utilizando um fator de calibração definido em laboratório. Os dados processados são enviados ao módulo master, que os disponibiliza para o usuário. Caso os valores estejam fora da faixa recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS)[15], que varia entre 150 ppm e 300 ppm, o sistema envia um alerta ao usuário.

3.1.1.2 Turbidity

O sensor de turbidez mede a quantidade de partículas suspensas na água, utilizando um feixe de luz infravermelho e um receptor que avalia a luz dispersa. A leitura em tensão é convertida para NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) com base em uma calibração laboratorial. Quando o valor ultrapassa 5 NTU, limite máximo recomendado pela OMS[16] para água potável, o sistema emite um alerta sonoro.

3.1.1.3 Potential of Hydrogen (pH)

O sensor de pH avalia a acidez ou alcalinidade da água por meio da diferença de potencial entre dois eletrodos: um eletrodo de referência e um eletrodo de vidro sensível a íons de hidrogênio. A leitura em tensão é convertida para uma escala de pH que varia de 0 a 14, com a faixa ideal para água potável entre 6 e 9,5 [17]. Valores fora dessa faixa resultam na emissão de um alerta para o usuário.

3.1.1.5 Long Range (LoRa)

A comunicação entre o módulo slave e o módulo master utiliza módulos LoRa da Radioenge, baseados no protocolo LoRaWAN. Essa tecnologia permite a transmissão de dados a longas distâncias, com alcance de até 10 km em áreas abertas, utilizando modulação de espectro espalhado para garantir baixa interferência e alta confiabilidade. Os módulos foram configurados para operar na banda ISM, sem necessidade de licenciamento, e utilizam endereçamento único para cada dispositivo, garantindo a identificação e integridade dos dados enviados ao módulo master.

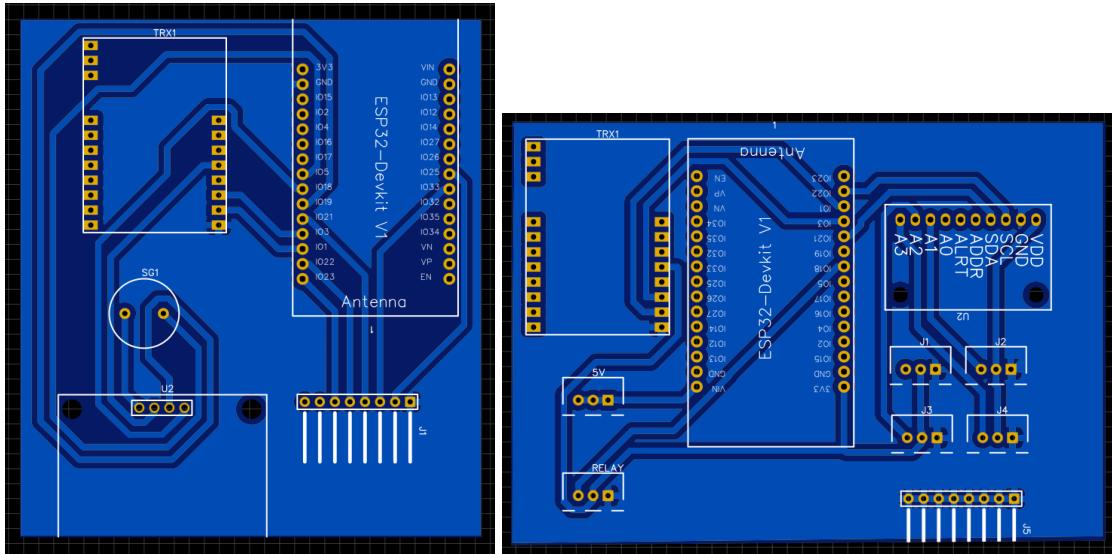
3.1.1.6 ESP32 microcontroller

Os microcontroladores ESP32 (DevKit V4) são equipados com processadores dual-core Xtensa LX6, com frequência de até 240 MHz e 520 KB de SRAM, adequados para tarefas de monitoramento e comunicação. No módulo slave, o ESP32 coleta dados dos sensores conectados ao ADS1115 pelo barramento I2C e realiza o pré-processamento básico antes de transmiti-los via LoRa. No módulo master, o ESP32 centraliza os dados recebidos e os prepara para envio ao sistema web. Suas funções integradas de economia de energia, como o modo de suspensão profunda, contribuem para aumentar a eficiência do sistema em aplicações remotas.

3.1.1.7 Placa de circuito impresso

A placa de circuito impresso (PCB) foi desenvolvida com o objetivo de trazer maior robustez e confiabilidade ao sistema. O design da PCB foi projetado para integrar todos os componentes de forma compacta e organizada, garantindo conexões seguras entre os sensores, módulos de comunicação e o microcontrolador ESP32. Trilhas de alimentação foram dimensionadas para suportar a corrente máxima exigida pelos componentes, e uma camada de verniz isolante foi aplicada para proteger contra umidade e oxidação. A PCB eliminou a necessidade de conexões temporárias ou cabos expostos, reduzindo vulnerabilidades a

vibrações e falhas elétricas. Essa implementação não apenas aumentou a durabilidade do sistema, mas também simplificou sua montagem e manutenção, tornando-o mais confiável para aplicações práticas.



3.1.1.7 Battery manager

O sistema utiliza um módulo TP4056 para carregamento da bateria, com suporte para tensões de entrada de até 8V. Essa configuração permite a utilização de um painel solar de 6V e 6W como fonte de energia. O TP4056 possui circuitos de proteção integrados que interrompem o circuito em caso de curto-circuito ou descarga excessiva da bateria, prevenindo danos ao sistema.

Para alimentar os sensores, um conversor step-up DC-DC está conectado ao módulo TP4056. Esse conversor eleva a tensão da bateria, que varia em torno de 4V, para 5V, a tensão de operação dos sensores. A utilização desse step-up garante a compatibilidade de tensão com os dispositivos conectados, independentemente da carga atual da bateria.

3.1.1.8 Aerator controller

O aerador está conectado a um relé que controla sua ativação e desativação, permitindo o acionamento baseado nas condições de operação detectadas pelo sistema. Como o aerador opera a uma tensão de 1,5V, foi adicionado um módulo step-down DC-DC ao circuito. Esse módulo converte a tensão da bateria de 4V para 1,5V, garantindo a alimentação adequada do aerador.

A utilização do relé e do módulo step-down permite o controle preciso do aerador e sua integração ao sistema, possibilitando respostas automáticas às condições do reservatório de água.

3.2 WEB View

O sistema inclui uma interface web desenvolvida com o objetivo de permitir o monitoramento em tempo real dos dados coletados pelos sensores conectados aos módulos ESP32. A visualização é apresentada no Google Sheets, atualizada periodicamente, permitindo que o usuário acompanhe parâmetros como TDS, pH,

turbidez, e os níveis de bateria dos módulos master e slave. Além disso, informações como data e hora de leitura são exibidas e tempo de ativação do aerador e leituras podem ser configuradas. A interface oferece clareza e acessibilidade ao apresentar os dados de forma estruturada, garantindo que os usuários possam identificar rapidamente qualquer necessidade de intervenção.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Sensor Data Logger						
2	Date	Time	TDS	PH	Turbidity	Battery % (Slave)	
3	16/11/2024	22:00:38	06.02	-0.00	0.77	3.88	
4	Sensor Reading Time (seconds)				Aerator Activation Time (seconds)		
5	5				120		
27	16/11/2024	21:59:55	06.04	-0.00	3.87	3.88	
28	16/11/2024	22:00:06	06.03	-0.00	0.72	3.88	
29	16/11/2024	22:00:26	06.02	-0.00	0.72	3.88	
30	16/11/2024	22:00:38	06.02	-0.00	0.77	3.88	

3.2.1 HTTP Protocol

A comunicação entre os módulos ESP32 e o Google Sheets utiliza o protocolo HTTP para envio de dados. O ESP32 master envia os dados coletados por meio de requisições HTTP POST para o Google Apps Script, que atua como intermediário entre os dispositivos e a planilha no Google Sheets. Cada requisição contém os dados de sensores e status operacional codificados em JSON. O Google Apps Script processa essas informações e as insere na planilha, garantindo uma organização consistente e atualização em tempo real. Essa abordagem simplifica a integração, aproveitando a infraestrutura já disponível no Google Cloud para gerenciar os dados recebidos.

3.2.2 Google Sheets

O Google Sheets é utilizado como a interface principal para o armazenamento e visualização dos dados coletados pelo sistema, permitindo acesso remoto e centralizado às informações. A ESP32 realiza o envio dos dados para a nuvem utilizando requisições HTTP direcionadas a uma URL gerada pelo Google Apps Script, como exemplificado:

```
https://script.google.com/macros/s/SCRIPT_ID/exec?sts=write&ph=7.5&turbidez=3.2&tds=120.4&battery_slave=80.0.
```

Nessa requisição, são enviados parâmetros como as leituras de pH, turbidez, TDS e o nível de bateria do módulo, além de informações adicionais que organizam os dados de forma estruturada. Por meio do script, os dados são automaticamente inseridos em uma planilha com estrutura pré-definida, que destaca condições críticas em uma seção separada. Essa integração proporciona uma visualização em

tempo real, facilita a automação de alertas e relatórios e oferece maior praticidade e eficiência ao sistema.

3.3. Development platform

O sistema foi desenvolvido utilizando o Arduino IDE como a principal plataforma de desenvolvimento. A escolha do Arduino IDE foi motivada por sua compatibilidade com o microcontrolador ESP32 e por sua interface amigável, que simplifica o processo de escrita, compilação e upload do firmware. O código foi escrito em C/C++ e utilizou bibliotecas específicas para comunicação LoRa, interface com sensores e envio de dados por HTTP, como WiFi.h, HTTPClient.h e bibliotecas para o protocolo I2C, garantindo a integração com os sensores e módulos conectados.

A utilização da Arduino IDE permitiu testes rápidos e ajustes no firmware, tornando o processo de desenvolvimento mais ágil e eficiente. A plataforma também possibilitou a integração com ferramentas de depuração serial, que foram utilizadas para monitorar e validar os dados enviados e recebidos durante os testes.

4. Results

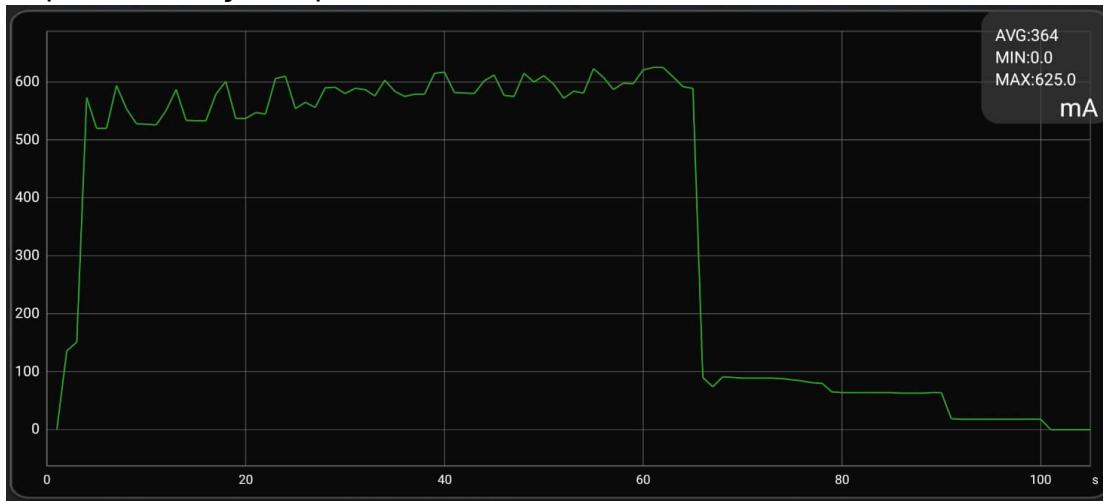
4.1. Calibration and experiments

Inicialmente, os sensores foram testados em soluções caseiras, como misturas de diferentes concentrações de vinagre e água para verificar o pH. Para o TDS, comparações foram realizadas entre amostras de água da chuva e água tratada fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE). Além disso, líquidos com diferentes níveis de opacidade foram utilizados para avaliar a resposta dos sensores de turbidez e comparar os resultados obtidos. No entanto, essas medições apresentaram um certo grau de incerteza. Foi necessário entrar em contato com o Instituto Federal do Ceará (IFCE) - Campus Quixadá para utilizar o laboratório de análises químicas, que conta com soluções e equipamentos calibrados. Com o acesso ao laboratório, a equipe pôde registrar as diferentes tensões de saída dos sensores conforme as propriedades testadas. Contudo, o laboratório não dispunha de alguns materiais essenciais para a calibração completa de todos os sensores; por exemplo, as substâncias de referência para pH estavam contaminadas, o que impediu a calibração adequada do sensor de pH. Nesse caso, foi feita apenas uma estimativa com um líquido de pH conhecido.

Durante a construção do protótipo, foi identificado um desafio relacionado à vedação, considerando que o dispositivo opera no nível da água em contato direto com o ambiente aquático. A vedação é essencial para evitar a entrada de água, que pode causar danos aos componentes eletrônicos e comprometer o funcionamento do sistema.

Para solucionar esse problema, foi necessário realizar orifícios no invólucro do protótipo, adaptados às dimensões exatas das pontas de prova dos sensores. Após a instalação, foi utilizada cola de vedação específica para garantir a impermeabilização ao redor dos sensores e demais conexões. Essa medida visa

assegurar a proteção do circuito contra infiltrações e aumentar a durabilidade do protótipo em condições operacionais.



O gráfico apresentado demonstra o consumo energético do protótipo em diferentes condições de operação. No pior caso, com o aerador ligado e a transmissão LoRa ativa, o consumo atingiu um pico de aproximadamente 625 mA por um período de 1 minuto. Após o desligamento do aerador e a conclusão da transmissão, o consumo estabilizou em 88 mA, mantendo o modo de escuta do módulo LoRa. Quando os sensores foram desligados, o consumo reduziu-se para 64 mA, e, com o módulo LoRa desligado, atingiu o valor mínimo de 18 mA. Supondo que o aerador funcione por 1 minuto a cada 10 minutos (9 minutos em modo de escuta, sensores ativos), a média de consumo fica em torno de 131 mA $[(1 \times 625 + 9 \times 88) / 10]$. Com uma bateria de 2.000 mAh, o sistema pode operar por aproximadamente 15 horas sem recarga. Em relação ao carregamento da bateria, foi observado que meio dia de sol indireto foi suficiente para recarregar 50% da capacidade, indicando que o sistema é capaz de se auto-sustentar energeticamente durante todo o dia, garantindo operação contínua.

4.2. Results

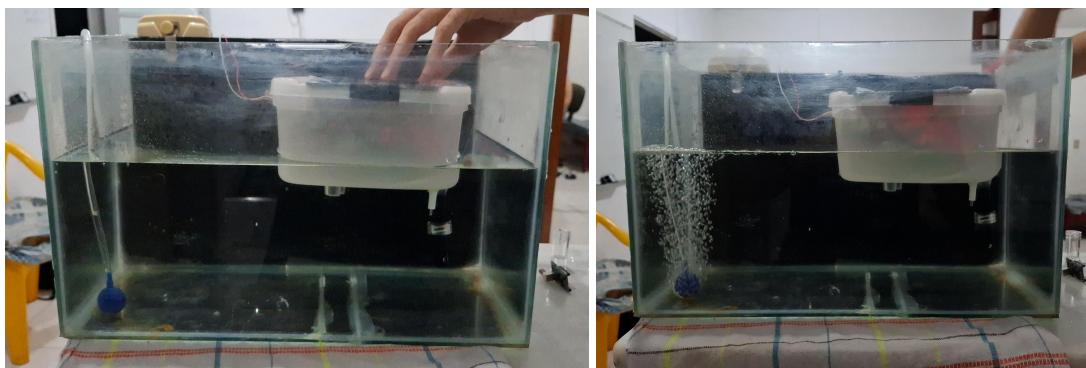
Os testes realizados com o protótipo desenvolvido evidenciaram a funcionalidade do sistema no monitoramento dos parâmetros de qualidade da água, na realização de ações preventivas e na transmissão de dados de maneira confiável. O monitoramento foi realizado com precisão pelos sensores de TDS, turbidez, pH e umidade, operando de acordo com o intervalo de leitura configurado em uma planilha online. Os dados coletados foram transmitidos por meio da comunicação LoRa, que apresentou estabilidade em ambiente urbano com alcance de até 1 km, sendo disponibilizados em tempo real ao usuário por meio de uma interface no Google Sheets.

A integração do módulo TP4056 com um painel solar assegurou o carregamento contínuo da bateria, enquanto o conversor step-up DC-DC manteve uma tensão estável de 5V para os sensores. O aerador foi controlado automaticamente por meio de um relé, com sua alimentação ajustada pelo módulo step-down DC-DC para 1,5V, operando de forma eficaz conforme os valores medidos pelos sensores ou os temporizadores configurados na planilha online.

A interface no Google Sheets demonstrou eficiência na exibição e organização dos dados coletados, incluindo informações como os valores mais recentes e os tempos de leitura. A transmissão dos dados por meio de requisições HTTP apresentou um atraso médio de 1 segundo entre a coleta das informações e sua atualização na planilha, sendo considerada adequada para os requisitos do sistema.

Durante os testes, foi identificado um desafio relacionado à vedação do protótipo, considerando que o dispositivo opera em contato direto com a água. Para mitigar esse problema, foram realizados orifícios nas dimensões exatas das pontas de prova dos sensores, com aplicação de cola para vedação. Embora essa solução tenha evitado infiltrações em condições normais de operação, observou-se a necessidade de reforçar a vedação para cenários que envolvam alta pressão ou submersão prolongada.

Apesar de algumas limitações, como o consumo energético do aerador em períodos prolongados de operação e pequenas variações nas leituras dos sensores de pH e turbidez em condições extremas, o sistema atendeu aos requisitos propostos. Ele demonstrou ser uma solução viável e funcional para o monitoramento remoto da qualidade da água, com potencial para melhorias adicionais que possam aumentar sua robustez e confiabilidade.





5. Innovation

Durante a fase de revisão bibliográfica, encontramos algumas soluções relevantes para o desenvolvimento do nosso projeto. Park et al. (2020) discutem o uso de sensores em tempo real para monitorar parâmetros como nível de água, temperatura e oxigênio dissolvido. Eles também abordam o uso de tecnologias avançadas, como imagens hiperespectrais e sensores específicos para compostos como fósforo e nitrogênio, empregando sensores de alto custo. Essas inovações aumentam a eficiência do monitoramento da qualidade da água, superando as limitações dos métodos tradicionais de coleta manual, que são lentos e pontuais. Em contraste, nosso trabalho é projetado para ser acessível e adaptável às condições econômicas e ambientais brasileiras.

Yasin et al. (2021) exploram o uso das TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) e IoT (Internet das Coisas) para a gestão da água. O estudo revisa o uso de sensores para monitorar a qualidade da água através de sensores de turbidez e atuadores para controlar o desperdício, destacando a aplicação de redes de sensores sem fio e plataformas de IoT. A integração dessas tecnologias permite um monitoramento contínuo e facilita a conservação dos recursos hídricos. Em contrapartida, nosso trabalho foca na utilização desses dados para a prevenção da proliferação de mosquitos e na manutenção da qualidade da água para o consumo humano, com sensores mais específicos.

Junior et al. (2020) desenvolveram um sistema acessível de monitoramento da qualidade da água, utilizando sensores de pH e condutividade. Este projeto, porém, utiliza conexão WiFi e/ou cartão micro SD, exigindo proximidade do módulo com sensores para análise em tempo real.

De Camargo et al. (2023) destacam os principais sensores aquáticos de baixo custo utilizados na Internet das Coisas, salientando que, em muitos países, o monitoramento da qualidade da água é limitado devido ao seu custo elevado, que pode alcançar \$500 (R\$2898 na cotação do dia 15/11/2024). O trabalho cita sensores mais baratos, como os de temperatura, turbidez, pH e TDS, que são utilizados em nosso projeto.

Em resumo, embora existam soluções avançadas e eficientes para o monitoramento da qualidade da água, nosso projeto se diferencia por ser uma alternativa acessível e adaptada às condições brasileiras, focando também na prevenção de doenças transmitidas por mosquitos.

Dos principais pontos de originalidade do nosso projeto além dos já comparados nos trabalhos relacionados, destacamos: **Sistema de Baixo Custo e Acessível:** Utilizando componentes econômicos como o ESP32 e sensores de baixo custo, nosso sistema é financeiramente acessível e fácil de implementar em

comunidades com recursos limitados, especialmente no Nordeste brasileiro. Isso promove inclusão tecnológica e monitoramento eficaz da água; **Prevenção de Mosquitos sem Detecção Direta:** Nosso sistema previne a proliferação de mosquitos com aeradores movidos a energia solar para evitar a formação de água parada, sendo acionado quando as condições são favoráveis por meio de Inteligência Artificial. Isso economiza energia e simplifica o processo de prevenção; **Uso de Energia Solar:** Paineis solares alimentam os aeradores e outros componentes, tornando o sistema sustentável. Isso é crucial para áreas remotas e economiza custos operacionais, além de reduzir a pegada ambiental; **Monitoramento em Tempo Real:** O sistema monitora continuamente a qualidade da água através de parâmetros como pH, turbidez e TDS, transmitindo dados em tempo real para decisões rápidas e eficazes.

Por fim, nota-se que oferecemos uma solução inovadora, acessível e eficiente para monitoramento da qualidade da água e prevenção de mosquitos, ideal para regiões como o Nordeste do Brasil. A combinação de componentes de baixo custo, energia solar e estratégias preventivas melhora a saúde pública e a sustentabilidade ambiental.

6. Conclusion

A qualidade da água é um fator crítico para a saúde humana e a preservação ambiental, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso, onde o monitoramento contínuo é desafiador. O atual trabalho propõe um sistema embarcado que utiliza sensores para medir parâmetros essenciais da qualidade da água, como TDS, pH, turbidez e níveis de bateria, integrados a uma comunicação de longo alcance via LoRa e a um monitoramento remoto baseado no Google Sheets. Diferentemente de soluções convencionais que dependem de sistemas complexos de monitoramento com infraestrutura robusta, nossa abordagem foca na simplicidade, baixo custo e facilidade de implementação. Combina tecnologias acessíveis e ferramentas amplamente disponíveis, como o Google Apps Script, eliminando a necessidade de desenvolver uma aplicação web dedicada, o que reduz significativamente o tempo e os recursos necessários para implantação.

Os resultados demonstraram a eficiência do sistema proposto, com medições precisas de qualidade da água e transmissão confiável de dados via LoRa a distâncias de até 1 km em ambiente urbano. O uso do Google Sheets como interface de monitoramento permitiu a visualização dos dados em tempo real e destacou condições críticas, como níveis fora dos padrões, garantindo acesso remoto e centralizado. Além disso, o gerenciamento energético com suporte de um painel solar permitiu o funcionamento contínuo do sistema, evidenciando sua autonomia. Esses resultados comprovam a viabilidade do protótipo para aplicações em monitoramento remoto, mesmo em locais com infraestrutura limitada.

Durante o desenvolvimento, a sincronização da coleta de dados com a transmissão LoRa apresentou dificuldades iniciais, exigindo ajustes no código para evitar travamentos e perdas de dados. Por fim, a exposição do protótipo a ambientes úmidos trouxe a necessidade de reforçar a vedação e o isolamento dos circuitos para evitar falhas.

Como continuidade, planeja-se melhorar a robustez do sistema com a implementação de métodos de redundância para transmissão de dados, como o uso de cache local para armazenar medições em caso de falhas na comunicação. Pretendemos também explorar a integração de aprendizado de máquina para análise preditiva, permitindo a identificação de tendências nos parâmetros de qualidade da água. Além disso, futuros desenvolvimentos incluirão a substituição do Google Sheets por um sistema mais robusto de banco de dados e visualização, com o objetivo de expandir as funcionalidades e melhorar a escalabilidade para aplicações mais amplas.

References

- [1] DOS SANTOS, Raissa Moura et al. **Sistema de monitoramento da qualidade da água usando internet das coisas.** Internet das Coisas e Sustentabilidade, Propostas Tecnológicas, p. 28.
- [2] VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. Journal of Molecular Liquids, v. 290, p. 111197, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>.
- [3] McGRANE, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: A review. Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 13, p. 2295-2311, 2016. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.112808>
- [4] MILLER, J. D.; HUTCHINS, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. Journal of Hydrology Regional Studies, v. 12, p. 345-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.06.006>.
- [5] MILLER, M. et al. IoT in water quality monitoring: Are we really here? Sensors, v. 23, n. 2, p. 960, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23020960>
- [6] RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEDADE M. T. F.; JUNK, W. J.; WAICHMAN, A. V. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. Int Aquat Res, v. 9, p. 81-88, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40071-016-0150-1>.
- [7] VILLARÍN, M. C.; MEREL, S. Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. Journal of hazardous materials, v. 390, p. 122139, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122139>
- [8] DAIGAVANE, V. V.; GAIKWAD, M. A. Water quality monitoring system based on IoT. Advances in wireless and mobile communications, v. 10, n. 5, p. 1107-1116, 2017.

- [9]CHOWDHURY, S.; MAZUMDER, M. J.; AL-ATTAS, O.; HUSAIN, T. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the total Environment*, v. 569, p. 476-488, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>.
- [10]PARK, Jungsu; KIM, Keug Tae; LEE, Woo Hyoung. Recent advances in information and communications technology (ICT) and sensor technology for monitoring water quality. *Water*, v. 12, n. 2, p. 510, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12020510>
- [11]YASIN, Hajar Maseeh et al. IoT and ICT based smart water management, monitoring and controlling system: A review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, v. 8, n. 2, p. 42-56, 2021. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v8i230198>
- [12]JUNIOR, Wilmar Borges Leal; DE ARAUJO, Humberto Xavier; TAVARES, Fabiano Medeiros. Monitoramento da qualidade da água utilizando plataforma de internet das coisas. *Humanidades & Inovação*, v. 7, n. 9, p. 46-53, 2020.
- [13]DE CAMARGO, Edson Tavares et al. Low-cost water quality sensors for IoT: A systematic review. *Sensors*, v. 23, n. 9, p. 4424, 2023.
- [14]LEON, Lucas Pordeus. Brasil atinge 1,6 mil mortes confirmadas por dengue. Agenciabrasil, 2024. Disponível em:<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2024-04/brasil-atinge-16-mil-mortes-confirmadas-por-dengue>. Acesso em: 30/06/2024.
- [15] SPLABOR. O que é um Medidor de TDS e quais as funções ele exerce? Disponível em:<https://www.splabor.com.br/blog/quia-do-comprador/o-que-e-um-medidor-de-tds-e-quais-as-funcoes-ele-exerce/>. Acesso em: 16 nov. 2024.
- [16] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 16 nov. 2024.
- [17]BRASIL. Portaria GM/MS nº 5.727, de 16 de novembro de 2017. Ministério da Saúde. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/MatricesConsolidacao/comum/5727.html>. Acesso em: 16/11/2024.

1.5.3. Fase Final:

1.5.3.1 Os Grupos aprovados para esta fase terão até o dia **18 de novembro de 2022** para apresentarem o Relatório Final do Projeto, que deverá ser composto dos seguintes documentos / artefatos:

- a) Relatório completo: O relatório deve ser em inglês e seguir o modelo que está disponível no Site. O relatório deve conter as seguintes informações: declaração de originalidade, título, resumo (o resumo deverá seguir o modelo anexo e conter até 250 palavras), palavras-chave, diagrama de blocos do sistema, funções e implementação, planos de teste, validação e análise dos resultados, além das referências. O relatório deve conter até 20 páginas (espaçamento simples entre linhas), incluindo todas as informações necessárias. O relatório, em formato pdf, deve ser submetido pelo JEMS.
- b) Comprovação de matrícula: documento da Universidade comprovando que os integrantes do Grupo são alunos devidamente matriculados na Universidade. Este documento pode ser uma carta da Universidade assinada pelo diretor da unidade ou as cópias digitais dos comprovantes de matrícula do semestre atual dos Alunos, onde apareça o número do registro acadêmico e o nome completo do Aluno, além das disciplinas cursadas no semestre, com carimbo e assinatura do coordenador do curso ou autenticação digital.
- c) No caso de o evento não poder ser presencial, em função de restrições sanitárias, na mesma data (**18 de novembro de 2022**) deve ser submetido também um Vídeo do Projeto na sua versão final, que servirá como material de convite e divulgação para a Fase Final, devendo também ser preparado de acordo com instruções a serem disponibilizadas no Site.

1.5.3.2. Todos os Grupos participantes da Fase Final deverão se apresentar no Evento SBESC 2022, que será realizado de **21 a 24 de novembro de 2022** em Fortaleza/CE, ou, caso o evento seja não-presencial, em ambiente virtual online, utilizando-se para tanto de plataformas e procedimentos a serem definidos pela organização e disponibilizados no Site. **Os custos de inscrição e deslocamento para o Evento deverão ser arcados diretamente pelo Grupo.**

IMPORTANTE: o SBESC e a ESC acontecerão de forma presencial