

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

**FERNANDO DE OLIVEIRA CAMARGO
JOSÉ LUCIO ZANCAN JUNIOR**

**MONITORAMENTO REMOTO DE NÍVEL E FLUXO DE ABASTECIMENTO DE
RESERVATÓRIO DE ÁGUA POTÁVEL DO CAMPUS POÇOS DE CALDAS DA
UNIFAL-MG**

POÇOS DE CALDAS/MG

2024

**FERNANDO DE OLIVEIRA CAMARGO
JOSÉ LUCIO ZANCAN JUNIOR**

**MONITORAMENTO REMOTO DE NÍVEL E FLUXO DE ABASTECIMENTO DE
RESERVATÓRIO DE ÁGUA POTÁVEL DO CAMPUS POÇOS DE CALDAS DA
UNIFAL-MG**

Produto de Conclusão PIEPEX apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia, pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano

POÇOS DE CALDAS/MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Camargo, Fernando de Oliveira.

Monitoramento Remoto de Nível e Fluxo de Abastecimento de Reservatório de Água Potável no Campus Poços de Caldas da Unifal-MG / Fernando de Oliveira Camargo, José Lucio Zancan Junior. - Poços de Caldas, MG, 2024.

60 f. : il. -

Orientador(a): Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Monitoramento Remoto. 2. Sistemas Embarcados. 3. Gestão de Recursos Hídricos,. 4. NodeMCU. 5. Internet das Coisas (IoT). I. Junior, José Lucio Zancan. II. Hirano, Prof. Dr. Laos Alexandre, orient. III. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**FERNANDO DE OLIVEIRA CAMARGO
JOSÉ LUCIO ZANCAN JUNIOR**

**MONITORAMENTO REMOTO DE NÍVEL E FLUXO DE ABASTECIMENTO DE
RESERVATÓRIO DE ÁGUA POTÁVEL**

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova o Produto de Conclusão PIEPEX apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovado em: _____ de _____ de 2024

Prof^ª. Dra. Carolina Del Roveri
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

_____.

Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

_____.

Prof. Dr. Leonardo H. S. Damasceno
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

_____.

AGRADECIMENTOS

Externalizamos os nossos profundos agradecimentos aos servidores Larissa Cagnani Brasileiro e Wallace Figueiredo Gonçalves que nos apoiaram com a logística da implementação do protótipo do projeto no reservatório do Prédio K do Campus Poços de Caldas; Aos servidores da Coordenadoria de Tecnologia da Informação do Campus Poços de Caldas pelo apoio técnico na conectividade do sistema; Ao servidor Ícaro Hissao Rocha Mandai pelo fornecimento de suas anotações e pelo apoio técnico; Ao colaborador Lair Ferreira, pelo apoio na manutenção durante os imprevistos ocorridos na parte hidráulica do projeto; Ao Professor Doutor Leonardo Henrique Soares Damasceno pelo apoio prestado desde o início do projeto como docente e pela paciência e prestatividade como Diretor de Campus na Gestão 2019-2023 ao nos atender e nos apoiar administrativamente na execução do projeto; A Gestão 2023-2025 da Direção de Campus pela paciência; E nossos agradecimentos especiais ao Professor Doutor Laos Alexandre Hirano pela orientação impecável na elaboração deste trabalho e pela coordenação do Laboratório de Prototipagem de Sistemas Embarcados (LAPSE).

Também agradecemos a equipe da MuchMore.digital, especialmente ao time de gestão (Ariela Primo, Bruno Encarnação, Emília Aguirre, Camila Ávila) e time de dados (Talvâne Lima, Marina Garcia, Daniela Avelar), pela paciência, compreensão e apoio prestados a nós, através da flexibilização de agendas e reuniões durante as etapas de elaboração, acompanhamento e manutenção do projeto.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo apresentar o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento remoto de nível e fluxo de abastecimento em reservatórios de água potável no Campus de Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas. Devido à importância crítica da gestão eficiente da água, propõe-se um sistema baseado em sensores ultrassônicos, de boia e de fluxo, integrados através de uma plataforma NodeMCU, para oferecer uma solução de baixo custo, porém eficaz, em comparação com os sistemas tradicionais. O sistema utiliza uma interface de usuário intuitiva desenvolvida no Home Assistant, permitindo monitoramento em tempo real e alertas automáticos para condições críticas. Os resultados indicam que o sistema não só melhora a precisão das medições de água, mas também facilita a tomada de decisão rápida em situações de emergência, garantindo a continuidade das operações acadêmicas e minimizando riscos relacionados à água. A implementação deste sistema demonstra um avanço significativo na gestão de recursos hídricos do campus, com potencial para aplicação em outras instituições que enfrentam desafios semelhantes.

Palavras-chave: Monitoramento Remoto, Sistemas Embarcados, Gestão de Recursos Hídricos, NodeMCU, Internet das Coisas (IoT).

ABSTRACT

This work aimed to develop and implement a remote monitoring system for the level and flow of water supply in potable water reservoirs at the Poços de Caldas campus of the Federal University of Alfenas. Given the critical importance of efficient water management, the proposed system employs ultrasonic, floating and flow sensors integrated through a NodeMCU platform to offer a cost-effective yet efficient solution compared to traditional systems. The system utilizes an intuitive user interface developed in Home Assistant, enabling real-time monitoring and automatic alerts for critical conditions. Results indicate that the system not only enhances the accuracy of water measurements but also facilitates swift decision-making in emergency situations, ensuring the continuity of academic operations and minimizing water-related risks. The implementation of this system represents a significant advancement in the campus's water resource management, with potential for application in other institutions facing similar challenges.

Keywords: Remote Monitoring, Embedded Systems, Water Resource Management, NodeMCU, Internet of Things (IoT).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A ESCOLHA DO PRÉDIO K	14
2.2 PLANOS DE CONTINGÊNCIA:	16
2.2.1 Distrito Federal (DF):	16
2.2.2 Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)	18
2.3 PRODUTOS E PROJETOS NO MERCADO:	19
2.3.1 REDGTECH AquaControl v3:	19
2.3.2 Nextcon Hidronivel	20
2.3.3 MakerHero: Monitore o volume na sua Caixa d'Água	21
2.3.4 RoboCore: Controle de Nível	22
2.4 ABORDAGEM	22
2.4.1 Sensor Ultrassom - Modelo JSN-SR04T	23
2.4.2 Sensor Ultrassônico HC-SR04	24
2.4.3 Sensor do tipo Boia Horizontal	24
2.4.4 NodeMCU	25
2.4.5 Extensor de pinos PCF8574	26
2.4.6 Sensor de Fluxo de água FS300A	28
2.4.7 Sensor de Temperatura e Umidade - Modelo DHT-11	29
2.4.8 Sensor de Temperatura d'água - DS18B20	30
2.4.9 Home Assistant	31
2.4.10 Protocolo MQTT	31
2.4.11 ESPHome	32
2.4.12 Demais equipamentos	32
3 METODOLOGIA	33
3.1 INTRODUÇÃO À METODOLOGIA	33
3.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	33
3.3 EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS:	33
3.1.1 Sensor de Nível Tipo Boia Horizontal	33
3.1.2 Sensor de Temperatura da água:	34
3.1.3 DHT11	34
3.1.4 Sensor Ultrassônico JSN-SR04T	34
3.1.5 Sensor Ultrassônico HC-SR04	36
3.1.6 Sensor de fluxo de água FS300A	36
3.1.7 NodeMCU	36
3.1.8 Protocolo MQTT	36
3.1.9 HomeAssistant	37
3.2 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM O USUÁRIO	38

3.3 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA	40
3.3.1 Instalação	40
3.3.2 Testes e Monitoramento	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES	43
4.1.1 Sensor Ultrassônico HC-SR04	43
4.1.2 Sensor Ultrassônico JSN-SR04T	43
4.2 INSTALAÇÃO FINAL	47
4.3 CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA	48
4.3.1 Primeiros dados após a instalação do protótipo	49
4.3.2 Incidente com o projeto	50
5 CONCLUSÕES	54
5.1 CUSTO DO PROTÓTIPO	54
5.2 FUNCIONAMENTO ATUAL	55
5.3 SUGESTÕES FUTURAS	55
5.3.1 Sensor de pressão	55
5.3.2 Consolidação do acesso a interface	55
5.3.3 Sistema de alertas	55
5.3.4 Substituição de sensores	55
5.4 CONCLUSÃO FINAL	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O Campus de Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas, situado no KM 533 da BR-267 na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais, inaugurado em 25/10/2010, ocupa uma área de 500.000 m² com uma área construída de aproximadamente 17.000 m², composta por 15 prédios distribuídos de maneira a aproveitar ao máximo a topologia natural da região. A arquitetura do campus foi planejada para atender às necessidades acadêmicas e administrativas, promovendo um ambiente propício para o desenvolvimento de atividades educacionais e de pesquisa, atualmente contando com 1.054 discentes matriculados, 97 docentes, 42 técnicos-administrativos em educação, 7 cursos de graduação e 5 cursos de pós-graduação. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS, 2012, 2023, 2024)

Figura 1 - Planta baixa da UNIFAL-MG Campus Poços de Caldas



Fonte: UNIFAL-MG (2019)

Na cidade de Poços de Caldas, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), exibidos no site Painel Saneamento, o consumo de água por pessoa é 173,75 litros/dia (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2024) em 2022, a cidade tem uma boa infraestrutura hídrica contemplando todos os moradores da cidade. Este valor considera as necessidades básicas e outras atividades praticadas no dia a dia, como lavar um carro, lazer, etc. De acordo com Sabesp (2024), tomar um banho de 15 minutos com o registro meio aberto consome 45 litros de água. Uma descarga que dura cerca de 6 segundos utiliza 12 litros, e lavar o rosto por 1 minuto gasta aproximadamente 3 litros.

Em termos de consumo de água, o Campus possui um volume significativo, devido à grande quantidade de alunos e servidores presentes. Levando em conta os valores estimados pelo artigo, pode-se estimar que uma pessoa que frequente o ambiente do campus por 6 horas consuma em média 35 litros de água por dia, além disso, existem outras atividades que exigem um consumo elevado durante o dia, como experimentos nos laboratórios e limpeza dos locais e dos equipamentos de forma distribuída, realizadas entre os diversos prédios e instalações.

Apenas no Prédio C - Laboratórios, entre 2017 e 2020 foram obtidas as seguintes medições:

Tabela 1 - Medições do hidrômetro do Prédio C

Data	Medida (m ³)
26/09/17	565.221
01/10/18	610.465
01/10/19	643.202
13/10/20	676.036

Fonte: MANDAI, 2020

O sistema de distribuição de água que integra o fornecimento pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto - Poços de Caldas (DMAE-PC) ao Campus, acordado em 2008, onde a empresa tinha até o final daquele ano para entregar a demanda exigida, é composto por uma extensa rede de tubulações,

desde o ponto de entrada próximo à rodovia, até o reservatório principal localizado na extremidade leste do Campus, e então, distribuída em caimento gravitacional até os demais reservatórios internos dos prédios do Campus. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS, 2014)

A interrupção ou indisponibilidade no fornecimento de água neste local acarreta em transtornos consideráveis ao Campus, transtornos esses que aumentam exponencialmente conforme o tempo de indisponibilidade transcorre. A falta de água no Campus afeta de diversas formas as atividades acadêmicas, de pesquisa e extensão, a permanência dos discentes e até mesmo as condições de higiene e segurança da comunidade acadêmica local.

Com a alta demanda de consumo em determinados períodos, qualquer interrupção no abastecimento pode resultar, de forma não exclusiva, em:

- Suspensão de aulas e atividades de pesquisa;
- Prejuízos na limpeza e manutenção dos prédios;
- Impactos em experimentos em laboratório; e
- Prejuízo no fornecimento de alimentação a comunidade acadêmica.

Diante destas possíveis interrupções, diversas soluções podem ser consideradas para mitigar os impactos da falta de água no campus, incluindo através do monitoramento e acompanhamento, como:

- Perfuração de poços artesianos;
- Implementação de sistemas de captação e reutilização de água da chuva;
- Contratação de caminhões-pipa em situações críticas e emergenciais;
- Redução e controle do consumo através de campanhas educativas;
- Monitoramento avançado do nível e vazão de água para otimizar a gestão dos recursos hídricos.

Entre essas alternativas, destaca-se a medição contínua do nível dos reservatórios e do fluxo de abastecimento de água do Campus. Essa abordagem visa fornecer dados precisos para o gerenciamento eficiente do consumo hídrico, permitindo a identificação rápida de anomalias e a implementação de medidas corretivas em tempo hábil, evitando ao máximo que as atividades sejam interrompidas e as dependências do Campus possam continuar em funcionamento

ainda que ocorram interrupções pontuais no fornecimento, através do planejamento antecipado e ação conjunta da comunidade acadêmica local.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade da implementação de um sistema de monitoramento contínuo do abastecimento e do armazenamento dos reservatórios de água potável do Campus Poços de Caldas.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver e implementar um sistema de monitoramento remoto que permita a medição do nível e do fluxo de água dos reservatórios do Campus de Poços de Caldas, com o desenvolvimento de um protótipo implementado em um único prédio, para avaliação, testes de sensores e de viabilidade técnica do projeto.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Escolher e implementar estratégias adequadas para medir o nível e a vazão da água;
- b) Calibrar os sensores de nível e vazão para garantir a precisão das medições;
- c) Estabelecer uma interface de usuário intuitiva para o monitoramento dos dados em tempo real;
- d) Disponibilizar uma ferramenta de notificação ativa nos casos de interrupções e anomalias no fornecimento;
- e) Caracterizar o desempenho do sistema desenvolvido através de testes e análises;
- f) Transferir a tecnologia desenvolvida para a gestão do Campus, para adição de novos pontos e manutenção preventiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escolha das estratégias para medir o nível e a vazão da água envolveu a análise de diferentes tipos de sensores e métodos de medição, considerando fatores como custo, precisão e facilidade de instalação. A calibração dos sensores foi um passo crítico para garantir a precisão e exatidão dos dados coletados. Além disso, a interface com o usuário foi estabelecida de forma a facilitar o acesso e a interpretação dos dados, no intuito de promover uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos do Campus de forma acessível para leigos e pessoas não-técnicas. Por fim, a caracterização do desempenho do sistema foi realizada através de testes em condições reais, permitindo avaliar a eficácia e a confiabilidade da solução proposta.

2.1 A ESCOLHA DO PRÉDIO K

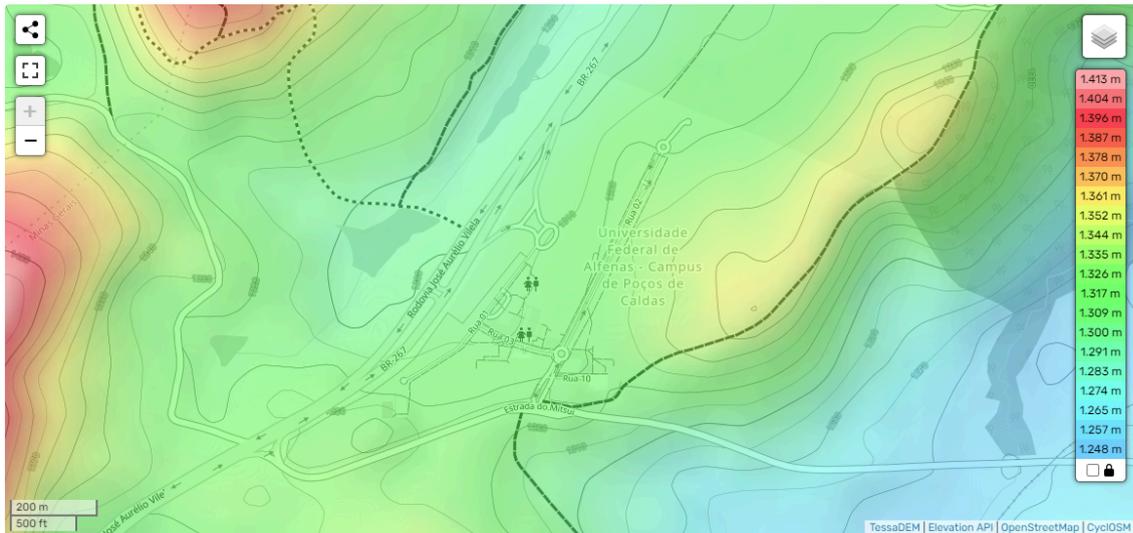
Os reservatórios do Prédio K foram selecionados para a implantação do primeiro protótipo do sistema de monitoramento, devido ao Prédio K ser considerado a edificação com maior elevação de terreno (em relação ao nível do mar) dentro dos limites do Campus Poços, além de possuir uma estrutura no estilo de vasos comunicantes, facilitando o monitoramento dos três reservatórios utilizando apenas um como base.

Tabela 2 - Altitudes dos prédios do Campus Poços

Prédio	Elevação aprox. (nível do mar)
Prédio A (Biblioteca)	1.308 metros
Prédio B (Salas de Aula)	1.311 metros
Prédio C (Laboratórios)	1.315 metros
Prédio D (Restaurante Universitário)	1.309 metros
Prédio F (Auditório)	1.311 metros
Prédio G (Lab. Engenharias)	1.314 metros
Prédio H (Pós-Graduação)	1.313 metros
Prédio J (ICT)	1.320 metros
Prédio K (Administração)	1.322 metros

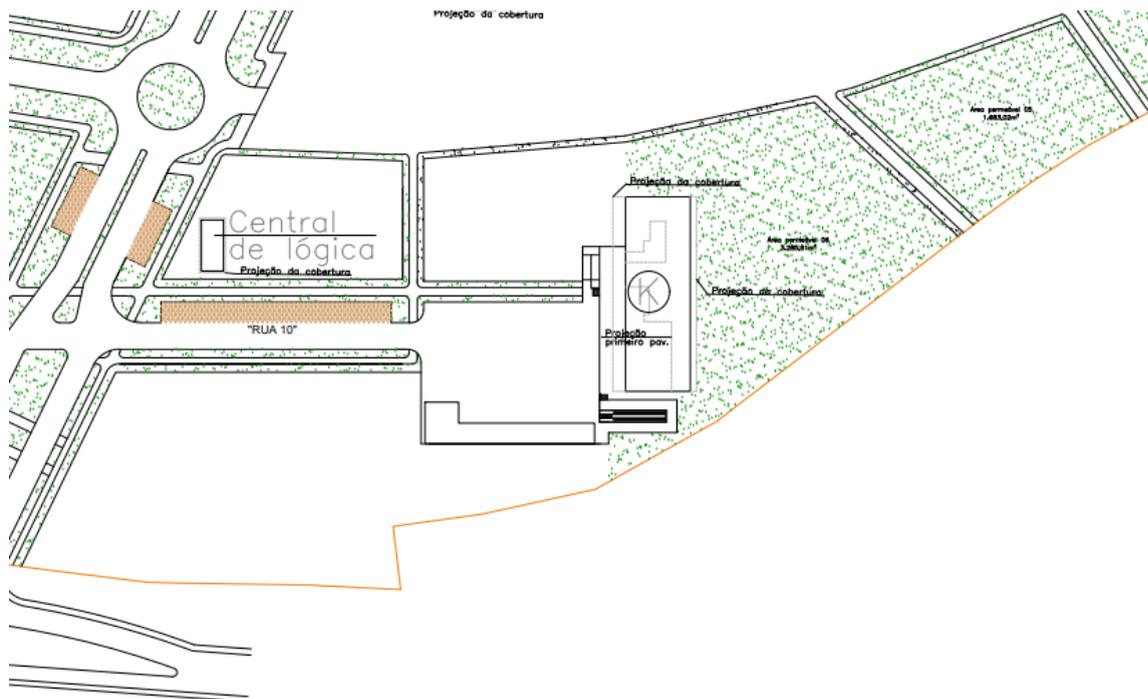
Fonte: Topographic Map (2024)

Figura 2 - Topografia da UNIFAL-MG Campus Poços



Fonte: Topographic Map (2024)

Figura 3 - Planta baixa, campus Poços, ampliação do prédio K, onde foram realizados os ensaios.

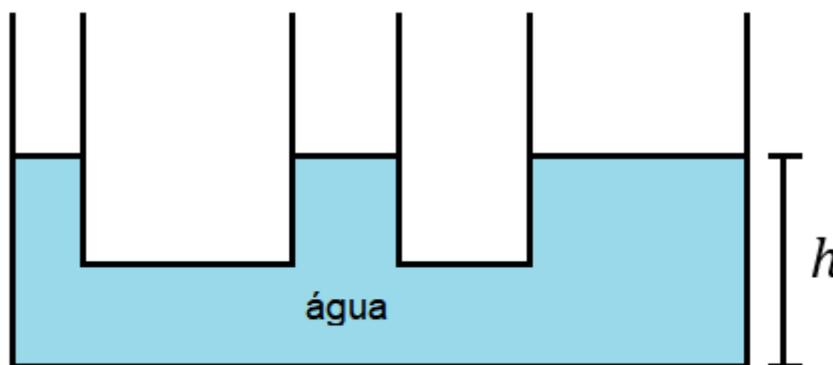


Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS (2019)

Além disso, devido a estrutura hidráulica do campus também estar distribuída em uma configuração no formato de “vasos comunicantes”. Os vasos comunicantes ou Teorema de Stevin, segundo Brunetti (BRUNETTI, 2013), são sistemas interligados de recipientes contendo um fluido, onde o nível do líquido se ajusta até que a pressão em todos os pontos da superfície livre do fluido se iguale (Figura 4),

em decorrência da ação da gravidade. Aplicações práticas deste conceito incluem sistemas de abastecimento de água, dispositivos de medição de pressão e instrumentos de nivelamento.

Figura 4 - Exemplo de vasos comunicantes



Fonte: RODRIGUES, L. G. R, 2020

2.2 PLANOS DE CONTINGÊNCIA:

Nesta seção estão apresentados alguns planos de contingência para crises hídricas e ações tomadas nestas situações em diversos locais.

2.2.1 Distrito Federal (DF):

No estado do Distrito Federal, em 2017, foi criado um Plano de Contingência denominado “Crise Hídrica” (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2017), prevendo e criando diretrizes para possíveis problemas com o abastecimento da população em caso de falta de água. Com os princípios globais de:

- a) Prevenção de Desastres;
- b) Mitigação;
- c) Preparação para Emergências e Desastres;
- d) Resposta aos Desastres;
- e) Recuperação;
- f) Reconstrução.

O plano também dita as finalidades esperadas, como minimizar efeitos durante o período de seca no estado, supervisionar as medidas preventivas de socorro para locais como hospitais, escolas, etc.

Considerando essas premissas, foi levantado alguns dados sobre a região para o entendimento do consumo diário dos moradores, em Brasília, por exemplo o consumo diário de água por pessoa em 2015 foi de 198 litros, segundo a Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb). Também segundo a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (Adasa), caso os níveis das fontes de abastecimento atinjam níveis abaixo de 40% será necessário movimentações por parte dos órgãos para conscientização da população.

Foi elencado também os principais problemas causados pela escassez hídrica, sendo eles:

- a) Suspensão de serviços básicos de saúde (postos e hospitais);
- b) Suspensão dos serviços de Ensino (escolas e creches);
- c) Comprometer serviços de Asilos e Presídios;
- d) Comprometer outros serviços que dependam do uso de água;
- e) Contaminação da população pelo consumo de água não tratado.

Para fins de controle e monitoramento dos níveis dos reservatórios, foi estipulado a comunicação com os centros de meteorologia da região para prever uma possível estiagem, assim como 2 Boletins diários sobre os níveis dos reservatórios.

Dos alertas, foi estipulado alguns limites para tomadas de decisão visando priorizar e assegurar a distribuição e as necessidades da população regional:

- **“Situação crítica de escassez”**: nível quando um dos reservatórios atinge um volume útil de 40%, durante o qual serão tomadas medidas efetivas para e redução do consumo;
- **“Estado de atenção”**: reservatórios entre 60% e 41%, nesta fase a população será notificada para reduzir o consumo e os riscos de quedas do nível do reservatório;
- **“Estado de alerta”**: reservatórios entre 40% e 21%, necessidade de adoção de medidas de redução do consumo;
- **“Estado de restrição de uso”**: Abaixo de 20%, adoção de um regime de racionamento mais intenso;

Figura 5 - Medidas elencadas pelo SEMA para escassez de água

Situação	Ações a desenvolver
Diminuição constante do volume do sistema do Descoberto e a manutenção dos outros sistemas com intensificação na duração do racionamento	Fornecimento de água potável a escolas, creches, hospitais, postos de saúde e asilos através de caminhões pipa durante o período de racionamento.
	Intensificação de campanhas e medidas visando a diminuição do consumo de água.
	Intensificação de medidas estruturais com fins a captar recursos hídricos de outras fontes.
Colapso do sistema do Descoberto e dos demais reservatórios do DF.	Fornecimento de água potável/bruta a escolas, creches, hospitais, postos de saúde e asilos através de caminhões pipa de maneira contínua.
	Intensificação de medidas visando o fornecimento de água aos serviços essenciais.
	Intensificação de medidas estruturais com fins a captar recursos hídricos de outras fontes.

Fonte: GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2017

2.2.2 Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)

Na Univasf, no ano 2023 foi lançado uma nota à comunidade sobre um período de falta de água que causou transtornos para a Universidade com abastecimentos irregulares na região do campus. Para mitigar a situação foram entregues por volta de 10 carros-pipas em um intervalo de 2 dias e a instalação de 3 bebedouros refrigerados (UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO, 2023).

Outras questões levantadas no comunicado foram a avaliação de possíveis estações de tratamento de água pela própria faculdade, assim como a aquisição de mais reservatórios para aumentar a capacidade no campus.

2.3 PRODUTOS E PROJETOS NO MERCADO:

No mercado é possível encontrar produtos que visam o monitoramento do nível de água em reservatórios com diversos preços (Tabela 3), métodos e níveis de precisão, dando ao consumidor diversas opções que podem encaixar no seu caso de uso. Abaixo encontram-se alguns modelos com seus respectivos preços:

Tabela 3 - Lista de produtos encontrados no mercado com funções semelhantes

Produto	Preço (R\$)
REDGTECH AquaControl v3	889,00
Nextcon Hidronivel	704,00

Fonte: Autor (2024). Preços coletados na internet no dia 29/05/24

2.3.1 REDGTECH AquaControl v3:

O modelo comercial AquaControl v3 funciona com a disposição de diversos sensores do tipo boia nos reservatórios (Figura 6a), tendo um controle discreto do volume presente, além disso ele conta com uma interface de usuário, onde é possível controlar e inserir *thresholds* (Figura 6b).

Figura 6a - Esquema do produto

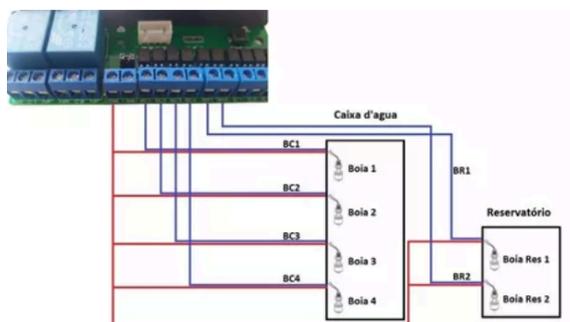


Figura 6b - Interface do produto



Fonte: MercadoLivre #907896169, 2024

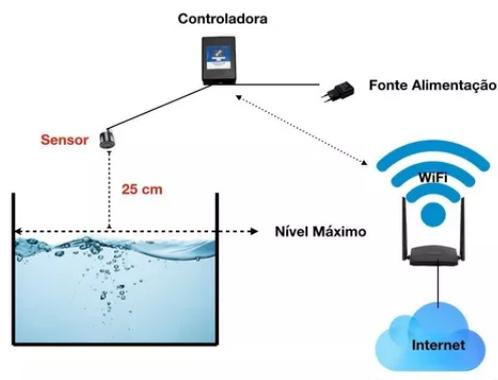
2.3.2 Nextcon Hidronivel

Já o produto da Nextcon (Figura 7a) utiliza um sensor de ultrassom para calcular o volume do recipiente. Como pode ser visto no esquema (Figura 7b), ele também envia as informações para um aplicativo onde é possível monitorar as condições atuais do reservatório monitorado.

Figura 7a - Produto



Figura 7b - Esquema de funcionamento

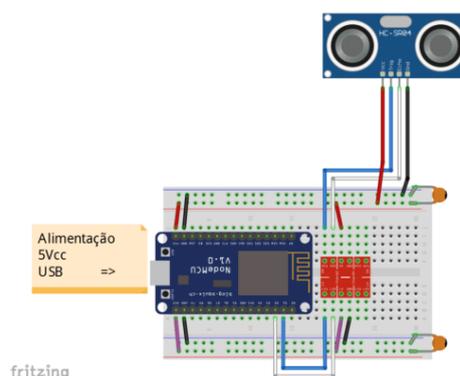


Fonte: Nextcon, 2024

2.3.3 MakerHero: Monitore o volume na sua Caixa d'Água

Também é possível encontrar opções DIY (do-it-yourself, em tradução livre, “faça você mesmo”), com uma abordagem mais didática e tendo como público alvo pessoas que se interessam em programação e sistemas embarcados, tendo assim uma variedade de artigos e video-tutoriais de como executar. Este tutorial no blog da MakerHero ensina como montar um sistema de monitoramento do volume de água em uma caixa d'água usando o ESP8266 NodeMCU (Figura 8). O projeto utiliza sensores ultrassônicos para medir a distância da superfície da água ao sensor, permitindo calcular o volume de água presente. O guia detalha os componentes necessários, o esquema de montagem e o código fonte do Arduino, oferecendo uma solução completa para monitoramento de níveis de água com atualizações em tempo real via Adafruit MQTT (Figura 9).

Figura 8 - Sistema do blog montado



Fonte: MakerHero (2020)

Figura 9 - Resultado do tutorial MakerHero

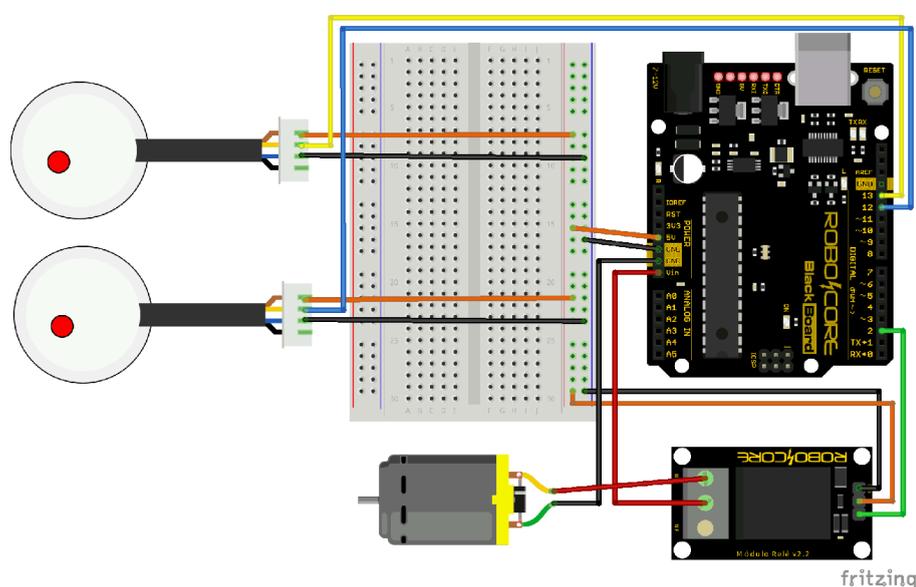


Fonte: MakerHero (2020)

2.3.4 RoboCore: Controle de Nível

Outra opção DIY é o tutorial da RoboCore abordando a construção de um sistema de controle de nível de água usando o UNO R3 com sensores de nível do tipo líquido sem contato. O tutorial fornece instruções detalhadas sobre a montagem do hardware (Figura 10) e o desenvolvimento do software, incluindo o código de controle. Além disso, o guia explica como configurar alertas e automações, como ligar ou desligar bombas de água automaticamente.

Figura 10 - Esquema do projeto criado no artigo RoboCore



Fonte: RoboCore [s.d.]

2.4 ABORDAGEM

A abordagem deste projeto tende a opção *DIY* de baixo custo, possibilitando uma replicação para as demais caixas d'água no campus de forma simples e de fácil manutenção, mas ainda assim entregando riqueza de detalhes e alertas para que decisões sejam feitas antes de alguma crise acontecer. Com isso, para este projeto, foram testados e selecionados diversos equipamentos, materiais e sensores de fácil acesso e com ampla disponibilidade no mercado, mantendo em vista a abordagem definida. A seguir encontra-se uma breve descrição dos itens utilizados, assim como opções que foram descartadas durante a concepção do protótipo.

2.4.1 Sensor Ultrassom - Modelo JSN-SR04T

O Sensor JSN-SR04T (Figura 11) é um Sensor Ultrassônico com faixa de operação linear entre 20 e 450 cm, com resolução de 1 mm, resistente à água, operando entre 3 e 5V, com corrente de 5 mA (em stand-by) e 30mA (em operação), com frequência acústica em 40KHz, similar aos sensores ultrassônicos veiculares comumente conhecidos como "sensores de ré".

Figura 11 - Sensor JSN-SR04T

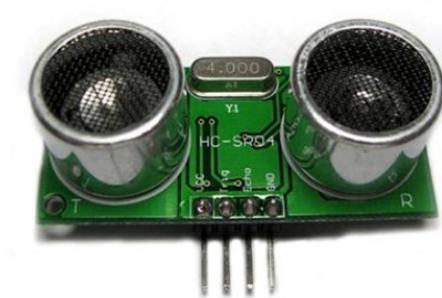


Fonte: EasyTronics, 2024

2.4.2 Sensor Ultrassônico HC-SR04

O Sensor Ultrassônico HC-SR04 é uma solução de baixo custo para mensurar distâncias entre 2 cm e 500 cm, com uma resolução de 0,3 cm e baixo consumo de energia (2mA) a 5V DC. Dispensando a necessidade de uma placa controladora dedicada, o mesmo é utilizado acionando o pino *Trigger* e aguardando uma resposta pelo pino *Echo*.

Figura 12 - Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: ITEADSTUDIO, 2013

2.4.3 Sensor do tipo Boia Horizontal

O sensor de nível tipo boia (Figura 13) é um sensor do tipo “on-off”, contendo uma parte móvel que armazena um pequeno elemento magnético alinhado com um sensor magnético do tipo “reed-switch”, onde ao ocorrer uma mudança de estado do elemento de boia, o circuito é aberto ou fechado pelo efeito magnético no interruptor “reed-switch”, possibilitando a detecção da alternância do estado do sensor, através do monitoramento do circuito.

Figura 13 - Sensor de Nivel do tipo Boia



Fonte: UserInfo, 2024

2.4.4 NodeMCU

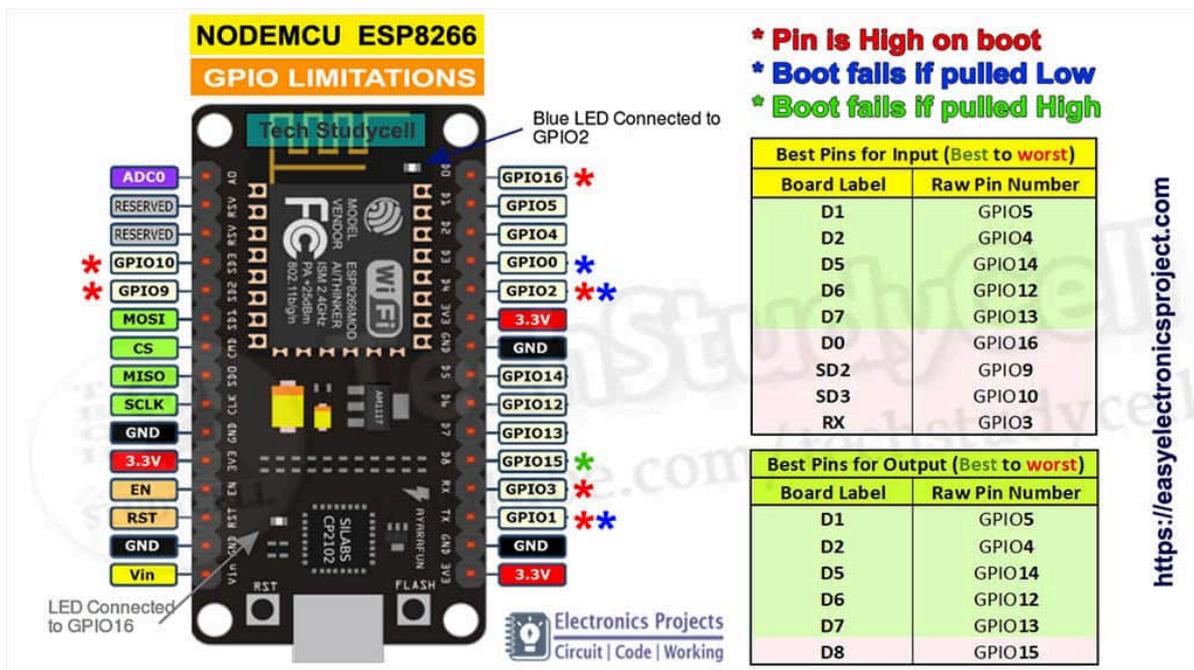
O NodeMCU (Figura 14a) é uma placa de desenvolvimento voltada para prototipagem, contendo um microcontrolador (“SoC”) modelo ESP8266 ou ESP32 (dependendo da variação da placa), sendo que ambos possuem, de forma embutida, a funcionalidade de conectividade *Wireless* (*WiFi* 2.4GHz) e, no caso do ESP32, também possui conectividade via *Bluetooth* também de forma nativa. Tendo seu software baseado em C++, podendo inclusive utilizar a plataforma "Arduino" para desenvolvimento e programação, essa placa em sua versão padrão conta com 30 pinos (Figura 14b), sendo 8 pinos para alimentação (VCC e GND), 6 pinos para comunicação (*UART* e *SPI*), 2 pinos de controle (*Enable* e *Reset*), 1 pino para conversão analógico-digital e os demais pinos para entrada e saída de sinais digitais e controle de inicialização do microcontrolador base, além de uma porta USB (geralmente no formato *MicroUSB*) para alimentação, programação e comunicação.

Figura 14a - NodeMCU baseado no SoC ESP8266



Fonte: UserInfo, 2024

Figura 14b - Pinagem e melhores pinos para entrada e saída de sinal do NodeMCU

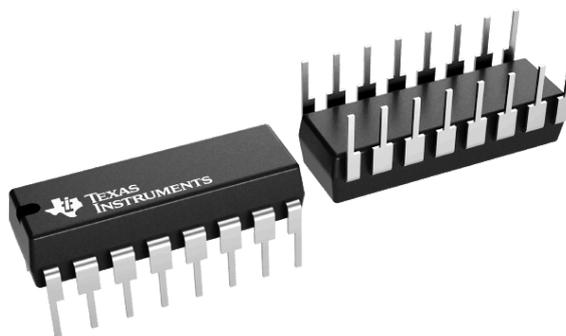


Fonte: easyeletronicsproject, 2024

Vale ressaltar que apesar do NodeMCU possuir 30 pinos em sua versão padrão, nem todos podem ser utilizados para entrada/saída de sinal, pois alguns destes pinos são reservados para alimentação, controle, comunicação e reservas técnicas (Figura 14b). Além disso, alguns pinos, mesmo categorizados exclusivamente como pinos digitais (que permitem a entrada/saída digital), possuem um comportamento específico que afeta a inicialização do NodeMCU, como sinalização para que o SoC entre em modo de programação.

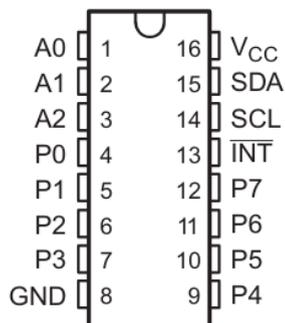
2.4.5 Extensor de pinos PCF8574

Figura 15a - Circuito Integrado PCF8574N, formato "DIP"



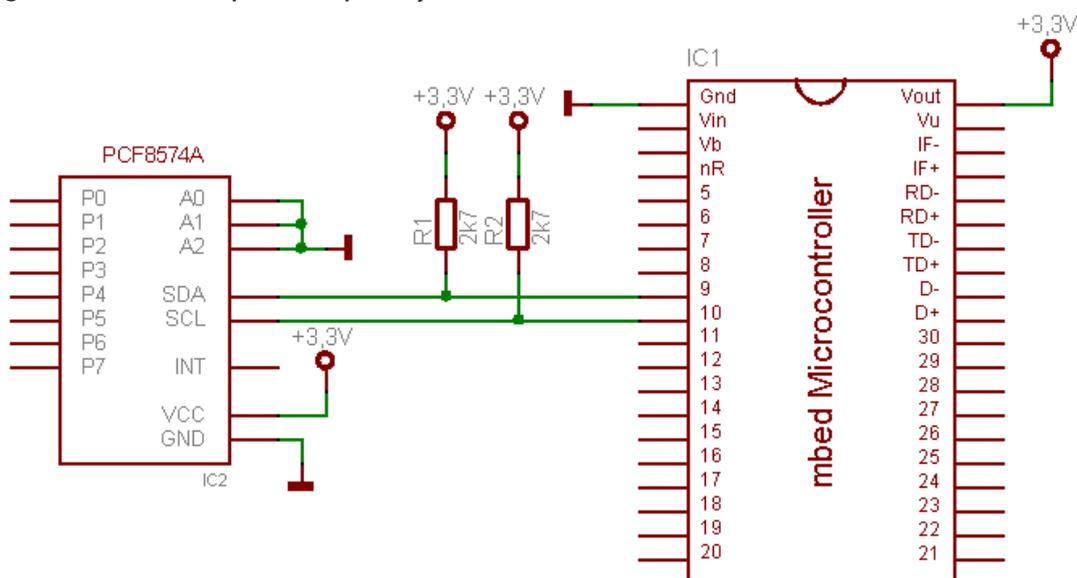
Fonte: Texas Instruments (2024)

Figura 15b - Pinagem do Circuito Integrado PFC8574N



Fonte: Texas Instruments (2024)

Figura 15c - Exemplo de aplicação do PCF8574A em um microcontrolador ARM



Fonte: Arm Mbed (2024)

O extensor de I/O PCF8574 (Figura 15a) é um Circuito Integrado que permite ampliar a quantidade de pinos de entrada/saída de sinal de um microcontrolador, geralmente utilizado em casos onde existe uma limitação de pinagem pelo controlador principal. Sua principal função é a possibilidade de transformar um sinal paralelo de até 8 entradas/saídas em um sinal em série, e vice-versa. Ou seja, ocupando apenas 2 pinos digitais do controlador principal (“SDA” e “SCL”), é possível receber e/ou enviar sinais para até 8 pinos diferentes e independentes.

Somado a isto, o PCF8574 possui um sistema de endereçamento de 3 pinos, cada um com a possibilidade de ser configurado entre ligado e desligado (“high” ou “low”, 1 ou 0), possibilitando que até 8 (2^3) unidades do PCF8574 possam ser

controladas pelo mesmo microcontrolador, ampliando a capacidade de pinos de um único dispositivo para 64 (8*8) pinos de entrada/saída, ainda utilizando apenas 2 pinos do microcontrolador principal, graças a comunicação em série entre os dispositivos.

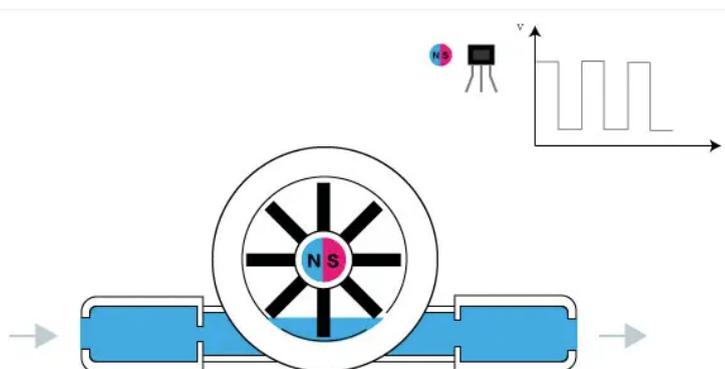
2.4.6 Sensor de Fluxo de água FS300A

Figura 16 - Sensor de Fluxo de água FS300A



Fonte: Tecnotronics, 2024

Figura 17 - Funcionamento interno de um sensor de fluxo



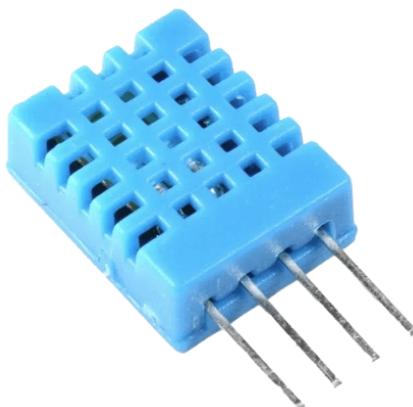
Fonte: Instituto Newton C. Braga, 2020

Um sensor de fluxo de água (Figura 16) mede a quantidade de água que passa por um ponto usando o princípio do efeito Hall. Ele consiste em um tubo com um rotor e um ímã anexado. Quando a água flui e faz o rotor girar, o ímã afeta o campo magnético em torno do sensor de efeito Hall (Figura 17), gerando alterações na corrente elétrica do sensor, que é então interpretada como um pulso. A frequência desses pulsos, na grandeza de pulsos/minutos, que corresponde à

velocidade de rotação do rotor, é proporcional à taxa de fluxo de água (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2020).

2.4.7 Sensor de Temperatura e Umidade - Modelo DHT-11

Figura 18 - Exemplo de um DHT11



Fonte: Makerhero (2024)

Tabela 4 - Valores pré-calibrados do DHT11

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25°C		±4%RH	
	0-50°C			±5%RH
Interchangeability Fully	Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1°C	
Accuracy		±1°C		±2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Fonte: Components101, 2021

O sensor DHT11 (Figura 18) é um dispositivo que combina um sensor de temperatura e umidade pré-calibrado em um único dispositivo, com uma saída de sinal digital. Utilizando uma técnica exclusiva de aquisição de sinal digital e tecnologia de detecção, ele garante alta confiabilidade e excelente estabilidade a longo prazo (COMPONENTS101, 2021)

2.4.8 Sensor de Temperatura d'água - DS18B20

Figura 19 - Sensor DS18B20



Fonte: RoboCore, 2024

Tabela 5 - Especificações do Sensor DS18B20

Tensão de Alimentação	3.0 VDC a 5.5 VDC
Precisão de	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$
Lê temperaturas de	-55°C a $+125^{\circ}\text{C}$
Resolução de	9 ou 12 bits
Interface	1 porta digital
ID único	64 bits
Alarme de Limite de Temperatura	sim
Ponta com	6 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento
Diâmetro do Cabo	4 mm
Comprimento do Cabo	95 cm

Fonte: DS18B20 Datasheet (2024)

Uma versão do DS18B20 (Figura 19) à prova d'água, indicado para aplicações onde é necessário medir a temperatura a uma longa distância do microcontrolador ou em ambientes úmidos e submersos. Uma grande vantagem é que, por ser digital, a leitura do sensor não sofre interferência da distância.

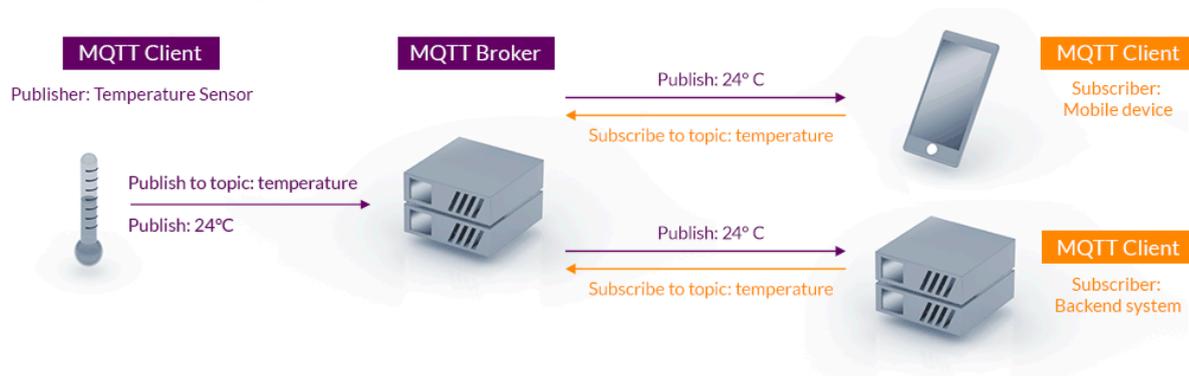
Por possuir um endereçamento único, vários sensores podem ser interligados na mesma interface, possibilitando a medição de temperaturas em aplicações de HVAC, máquinas, monitoramento de processos, etc.

2.4.9 Home Assistant

Para a interface com o usuário foi utilizado o *software* Home Assistant, seu objetivo é manter todas as informações de forma privada e com a possibilidade de ser mantido totalmente de forma local, bastando um simples computador ou máquina virtual para sua hospedagem. Por se tratar de uma ferramenta de código aberto, sua principal vantagem é a ampla comunidade que a utiliza e desenvolve novos recursos, possibilitando assim uma gama enorme de compatibilidade e métricas para os utilizadores deste software, com mais de 1000 marcas e serviços compatíveis (HOME ASSISTANT, 2019).

2.4.10 Protocolo MQTT

Figura 20 - Exemplo de utilização do protocolo MQTT



Fonte: (MQTT.ORG, 2022)

O Protocolo MQTT é um sistema de mensageria utilizado principalmente no contexto de Internet das Coisas (*IoT*), possibilitando uma comunicação prática, rápida e simples, mas ao mesmo tempo robusta, confiável e com múltiplas camadas de integridade dos dados. Funcionando em uma estrutura de tópicos, com “*publishers*” e “*subscribers*”, ou seja, publicadores e assinantes, as mensagens

trafegam em uma mistura de fila e caixa de entrada, onde uma mensagem é publicada em um tópico por um “*publisher*” e essa mesma mensagem fica no aguardo pela leitura por um “*subscriber*”. Essa mensagem pode então ser removida da fila logo após a leitura, ou permanecer retida para que outros assinantes também façam a leitura desta mesma mensagem (MQTT.ORG, 2022).

2.4.11 ESPHome

O ESPHome é um *firmware* para ser gravado em dispositivos como o NodeMCU, transformando-os em uma ferramenta de gestão de sensores, atuadores e componentes de IoT, ao mesmo tempo que facilita e integra nativamente componentes de conectividade como WiFi, protocolo MQTT, Bluetooth, e também de gestão, como portais de autenticação, registros de auditoria, gestão de conexão, atualização automática de *firmware* e comunicação direta com o HomeAssistant (ESPHome, 2024). Desta forma, dispensa-se a necessidade de criar um código dedicado para tais funcionalidades como em uma plataforma como o “Arduino” e até mesmo a necessidade de programar o dispositivo usando uma linguagem como C++.

2.4.12 Demais equipamentos

Além dos componentes anteriores, foram utilizados outros equipamentos para auxiliar no projeto, como:

- Válvula Manual PVC 25mm: Controle manual do abastecimento da caixa d'água, para fins de teste e/ou manutenção;
- Roteador WiFi 2.4GHz TP-Link: Agindo como um repetidor de sinal, para melhorar a cobertura da rede original no local do projeto;
- Mini-Protoboard: Permite montar circuitos eletrônicos de forma simples, facilitando a criação de protótipos;
- Canos PVC: Para suporte e adequação na entrada do reservatório;
- Régua de tomada: Alimentar os dispositivos necessários no local;
- Fonte 5v 2A: Alimentação dos componentes;

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO À METODOLOGIA

Este capítulo descreve os métodos e procedimentos adotados no desenvolvimento e implementação do sistema de monitoramento remoto para reservatórios de água potável no Campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas. A escolha de uma metodologia apropriada é crucial para atingir os objetivos estabelecidos de fornecer uma solução de baixo custo e eficaz para a gestão de recursos hídricos através de tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT).

O sistema é projetado para monitorar o nível e fluxo de água nos reservatórios, utilizando uma combinação de sensores ultrassônicos, de boia e de fluxo, integrados através de uma plataforma NodeMCU. Este capítulo explica cada etapa do processo, desde a seleção dos componentes até a implementação e testes do sistema.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Inicialmente, foi realizada uma seleção criteriosa dos sensores e componentes eletrônicos que compõem o sistema. Optou-se pelo sensor ultrassônico modelo JSN-SR04T para a medição principal de nível devido à sua precisão e resistência à água. A integração dos sensores com o microcontrolador NodeMCU permite o envio de dados em tempo real para uma interface de usuário desenvolvida no Home Assistant, possibilitando o monitoramento remoto.

3.3 EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS:

3.1.1 Sensor de Nível Tipo Boia Horizontal

Foram utilizados 4 sensores de nível do tipo boia horizontal (Figura 12), distribuídos de forma vertical presos em um cano de PVC, espaçados uniformemente entre eles. O cano então foi apoiado na lateral interna do reservatório principal do conjunto de reservatórios do Prédio K. Os 4 sensores formam um aparato que mensura o nível de água do reservatório de forma discretizada em 4 níveis, sendo eles: “Alto”, “Médio”, “Baixo” e “Muito Baixo”. Cada um dos sensores foi

ligado no extensor de pinos, para possibilitar que as 4 saídas possam ser monitoradas de forma independente pelo NodeMCU, mesmo considerando sua restrição de pinos de entrada de sinal.

3.1.2 Sensor de Temperatura da água:

O sensor de temperatura DS18B20 foi instalado submerso, dentro do cano de PVC onde os sensores de boia são fixados, para aferir a temperatura da água presente no reservatório no momento da leitura.

3.1.3 DHT11

O sensor DHT11 foi instalado próximo ao NodeMCU na caixa controladora, tendo como objetivo o monitoramento da temperatura e umidade ambiente do local, possibilitando uma inferência dos dados entre os demais sensores.

3.1.4 Sensor Ultrassônico JSN-SR04T

Fixado junto a tampa da caixa d'água de forma que fique apontado para baixo, desta forma é possível fazer a coleta de dados baseado no tempo em que a ultra som demora para ser emitida, refletida e retornada para o sensor, com base nesse tempo e considerando as medidas externas dos reservatórios (circunferência da base, circunferência do topo e altura do reservatório até o limite de enchimento) e dos canos que os interligam , sendo estimado que os 3 reservatórios possuem a capacidade total de 8137,79 Litros (cada um dos três reservatórios possui o volume nominal de 3000L).

As leituras para a calibração do sensor ultrassônico foram coletadas a partir de um código (Figura 21) de duas formas distintas:

- Oversampling manual de 12 amostras, com um intervalo de 500 ms entre cada leitura.
- Oversampling utilizando o método nativo da biblioteca NewPing com 32 amostras, com um intervalo de 100 ms entre cada leitura.

Figura 21 - Código utilizado para calibração do sensor JSN-SR04T

```

//Fazemos um oversampling de 12 amostras, adicionando cada iteração em um array
for (int i = 0; i < 12; i++) {
    //Retorna o tempo em microsegundos de ida e retorno do sinal sonoro
    distancesTime[i] = sonar.ping();
    //Aguardamos meio segundo para evitar possíveis conflitos com outros envios
    (apesar de ser um numero exageradamente alto)
    delay(500);

    //Retorna a distância (calculada internamente pela biblioteca NewPing) em
    centímetros
    distancesCM[i] = sonar.ping_cm();
    delay(500);
}

//Além do oversampling manual acima, fazemos um oversampling utilizando o
método nativo da biblioteca com 32 amostras.
//(Média de 32 leituras)
echoMedian = sonar.ping_median(32);
delay(500);

//Converte internamente a média do tempo de retorno (RTT) para centímetros
cmMedian = sonar.convert_cm(echoMedian);

//Estruturamos os dados coletados em JSON
StaticJsonDocument<512> doc;

JsonObject obj = doc.to<JsonObject>();
obj["echoMedian"] = echoMedian;
obj["cmMedian"] = cmMedian;

JsonArray arrTime = doc.createNestedArray("times");
for (int i = 0; i < 16; i++) {
    arrTime.add(distancesTime[i]);
}

JsonArray arrCM = doc.createNestedArray("cm");
for (int i = 0; i < 16; i++) {
    arrCM.add(distancesCM[i]);
}

String jsonPayload;
serializeJson(doc, jsonPayload);

//Respondemos a request HTTP com o payload em JSON
server.send(200, "application/json", jsonPayload);
}

```

Fonte: Autor (2024)

3.1.5 Sensor Ultrassônico HC-SR04

O Sensor ultrassônico HC-SR04 apresentou uma série de problemas durante a etapa de planejamento e testes. Em um teste controlado utilizando um balde de água, o sensor apresentou diversos erros de leitura e instabilidades na comunicação. Tendo isto em vista, o mesmo não foi aplicado no projeto.

3.1.6 Sensor de fluxo de água FS300A

O sensor de fluxo de água foi instalado na região de abastecimento da caixa d'água. Inicialmente, foi definido que a utilização deste sensor seria apenas para a existência ou não de fluxo de água dentro do sistema, logo foi utilizado a medida pulso/min. Esta medida, mesmo não mostrando o valor quantitativo de Litros/hora no sistema, se mostrou bastante útil em algumas análises de casos durante o decorrer do protótipo. Porém, é possível fazer a transformação para Litros/hora se for realizado experimentos para verificar as medições reportadas em situação controladas.

3.1.7 NodeMCU

Fixado dentro da caixa controladora, com o auxílio de uma protoboard, sendo responsável por todas as operações de leitura dos sensores, conexão à internet e envio dos dados para o HomeAssistant. Tendo o software ESPHome como base, o NodeMCU se conecta ao Roteador WiFi nas proximidades do projeto e se comunica com o servidor MQTT hospedado em nuvem, que por consequência, se comunica com o servidor HomeAssistant.

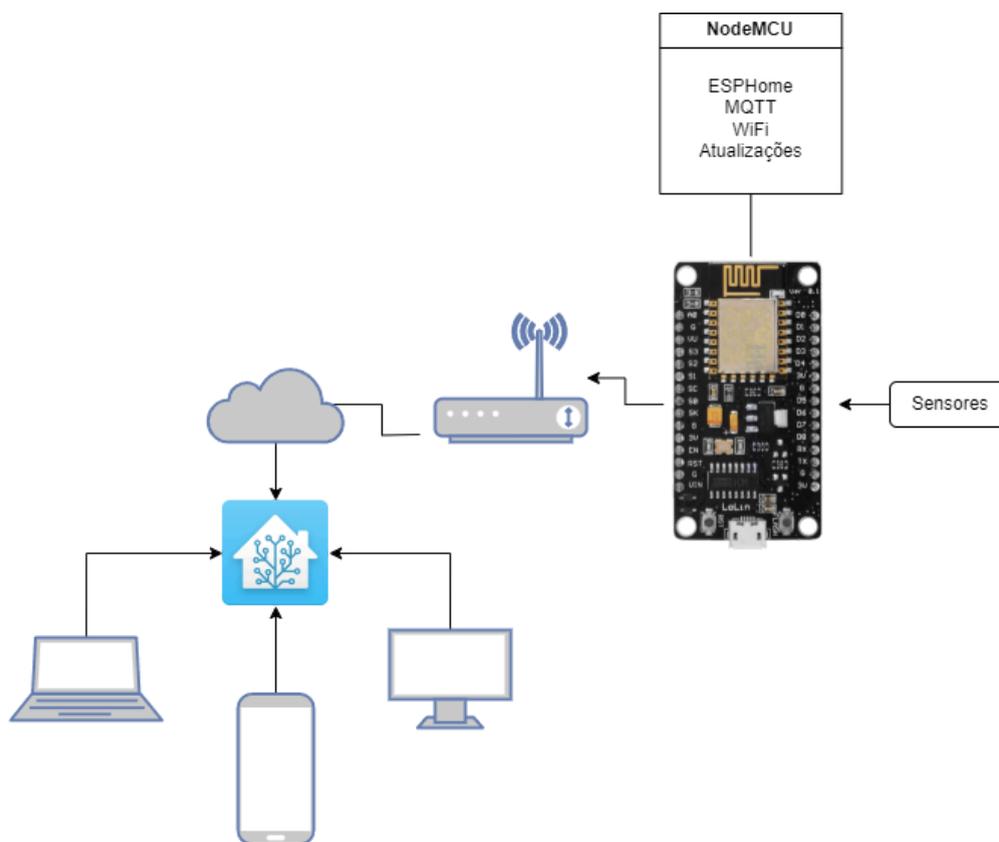
3.1.8 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT foi utilizado para fazer a conexão e comunicação entre o NodeMCU e o ESPHome, com o HomeAssistant, possibilitando uma comunicação bidirecional entre os dispositivos e sistemas, mantendo uma atualização frequente das métricas e das leituras efetuadas pelos sensores ao painel de controle do HomeAssistant.

3.1.9 HomeAssistant

O software HomeAssistant foi utilizado como interface de usuário, exibindo o estado atual (ou ao menos, o último estado conhecido) de cada um dos sensores envolvidos no projeto, incluindo dados de nível do sinal WiFi do NodeMCU, tempo de funcionamento do sistema desde a última interrupção de energia e frequência de atualização dos sensores. O HomeAssistant foi instalado em uma máquina virtual em nuvem, possibilitando que o seu acesso seja efetuado através de qualquer local da internet, com autenticação.

Figura 22 - Esquema lógico do sistema de comunicação



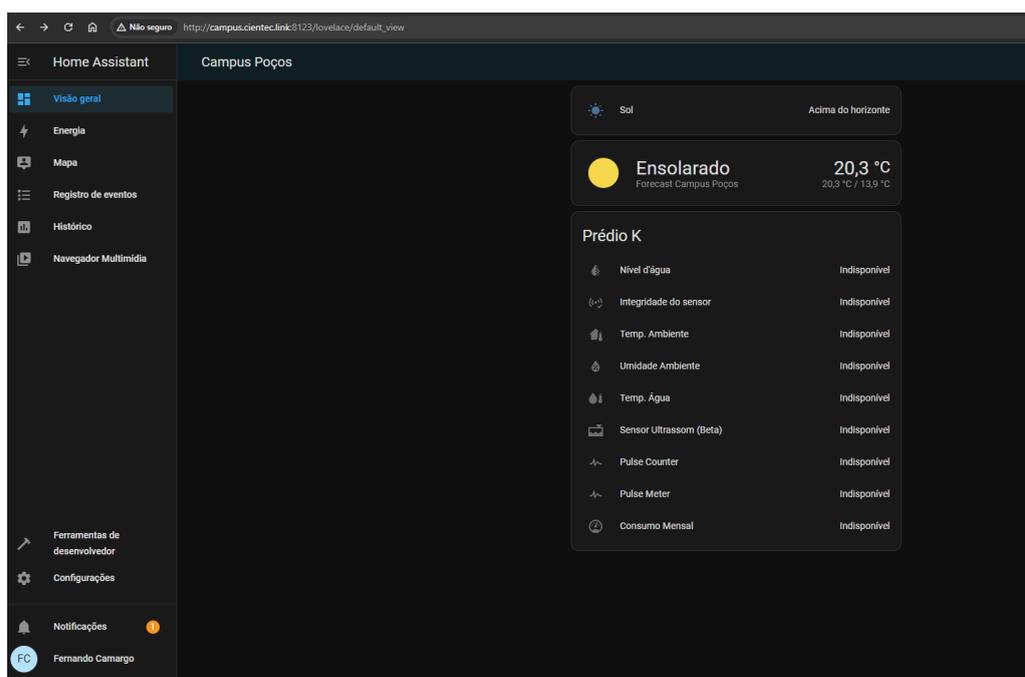
Fonte: Autor (2024)

3.2 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM O USUÁRIO

Considerando a complexidade envolvida no desenvolvimento de uma interface de usuário do zero, além do risco considerável de falhas, indisponibilidades e demais problemas comuns a um software recém-desenvolvido, que necessitam de várias etapas e tempo de desenvolvimento para mitigação, até atingir um nível de maturidade satisfatório, optou-se pela utilização de um sistema já desenvolvido, gratuito, de código-aberto, suportado pela comunidade e já estabelecido com vários anos de desenvolvimento ativo.

Sendo assim, o software HomeAssistant atua como a interface de usuário (Figura 23), possibilitando a configuração de formas de visualização variadas, painéis de controle específicos e, principalmente, a segmentação de quais dados serão disponibilizados de quais formas para quais usuários. Possibilitando assim que um usuário não-técnico tenha acesso somente aos dados mais compilados e já interpretados, enquanto permite que um usuário mais avançado tenha acesso a dados mais brutos, da mesma forma como estão sendo lidos pelos sensores, permitindo uma análise e interpretação própria pelo usuário.

Figura 23 - Exemplo da interface do Home Assistant



Fonte: Autor (2024)

Ao clicar em uma das opções, uma tela se abre, mostrando um gráfico de histórico das últimas horas daquele sensor, permitindo que seja possível avaliar as condições em uma linha do tempo contínua (Figura 24).

Figura 24 - Exemplo de gráfico de histórico de um dos sensores



Fonte: Autor (2024)

A plataforma foi publicada em um servidor próprio em nuvem, disponibilizada no endereço <http://campus.cientec.link:8123/>, atrás de um portal de identificação por login e senha (Figura 25), estes que foram previamente compartilhados com os usuários.

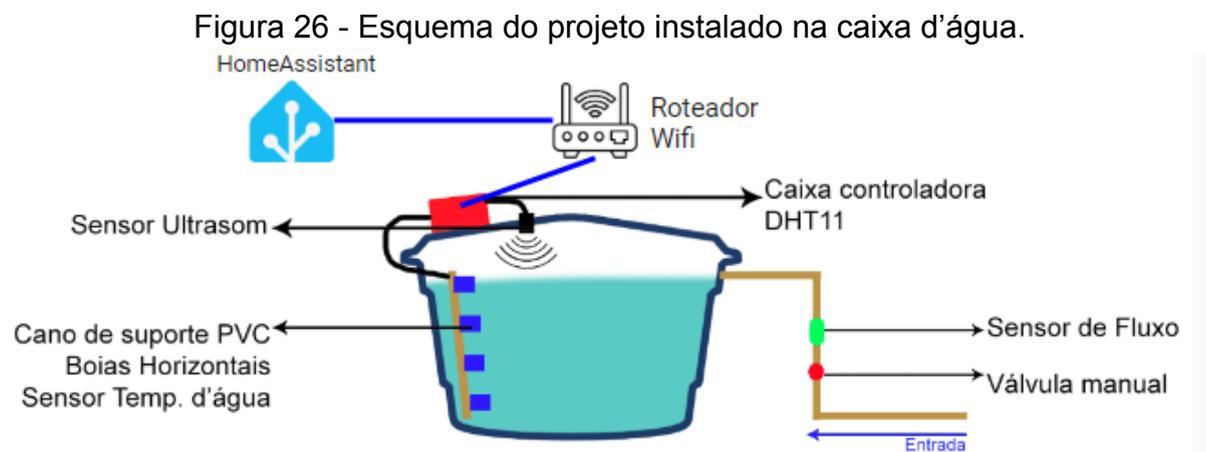
Figura 25 - Tela de login do sistema Home Assistant

A tela de login do sistema Home Assistant apresenta o logotipo e o nome 'Home Assistant' no topo. Abaixo, há uma mensagem informando que o usuário está prestes a dar acesso à instância local. O formulário contém campos para 'Usuário*' e 'Senha*', um checkbox para 'Mantenha-me logado' e um botão 'PRÓXIMO' no rodapé.

Fonte: Autor (2024)

3.3 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA

O protótipo consiste em diversos componentes (Figura 26), que são essenciais para o funcionamento e monitoramento do reservatório como um todo.



Fonte: Autor (2024)

3.3.1 Instalação

Na estrutura de entrada do reservatório foi implementada uma válvula manual para controle e eventos de manutenção, seguida da implementação do sensor de fluxo para monitorar o estado do abastecimento em determinado momento. Já na tampa do reservatório está instalada a ponta de prova do sensor ultrassônico, alinhado diretamente com o topo do nível de água do reservatório, medindo assim a distância entre a superfície da água e a ponta de prova. Com isso, é possível inferir o volume aproximado de água potável nos 3 reservatórios conectados, através da observação da variação da distância entre a superfície da água e a ponta de prova do sensor. Na lateral do reservatório está apoiado o cano de PVC contendo os 4 sensores de nível do tipo boia, uniformemente distribuídos, criando um sensoriamento discreto em 4 níveis (Alto, Médio, Baixo e Muito baixo).

Figura 27 - Primeira instalação no Prédio K



Fonte: Autor (2023)

Todos esses sensores, incluindo o sensor de temperatura submerso e o sensor de temperatura e umidade ambiente, são então conectados com seus devidos conectores e interfaces, ao NodeMCU, presente na caixa controladora (Figura 27), que faz a energização e leitura dos mesmos em períodos variados (como exemplo, o sensor ultrassônico é lido a cada 30 segundos). O NodeMCU, controlado pelo ESPHome, mantém estabelecida uma conexão ao Roteador WiFi, para que seja possível manter uma conexão estável ao servidor de MQTT, por onde os dados dos sensores são enviados periodicamente, para recebimento pelo HomeAssistant, este último que disponibiliza os dados brutos e interpretados ao usuário final.

A instalação do protótipo no reservatório do Prédio K foi realizada em etapas, conforme os sensores eram testados e validados para adição ao sistema:

a) Em um primeiro momento, o suporte com o sensor de nível discreto (sensor boia) foi afixado na lateral do reservatório, de forma que não foi necessário nenhuma intervenção considerável na estrutura do reservatório, tendo em vista que o mesmo se encontra apoiado na própria lateral do reservatório e mantido no lugar sendo pressionado pela tampa do reservatório, submergindo todos os 4 sensores boia;

b) Na segunda intervenção, a caixa controladora foi instalada, juntamente com o NodeMCU, o sensor de temperatura DHT11 e o sensor de temperatura submerso. Foi efetuada uma tentativa de conexão do módulo WiFi do NodeMCU à rede *Wireless* da Unifal-MG, porém sem sucesso, devido ao baixo nível de intensidade do sinal do roteador mais próximo ao reservatório. Após solicitação ao setor de TI do Campus e autorização da Direção de Campus, um Roteador WiFi comum foi liberado na rede cabeada do Campus, possibilitando assim que a conexão fosse roteada entre a conexão cabeada e uma rede WiFi própria para o sistema e o NodeMCU, desta vez, com o roteador ao lado da caixa controladora, permitindo assim um sinal de extrema intensidade;

c) Na terceira intervenção, o sensor ultrassônico foi instalado no sistema, fixando a ponta de prova em um pequeno furo na tampa do reservatório e conectando a placa controladora do mesmo ao NodeMCU;

d) Na última intervenção, foi efetuada a implantação do sensor de fluxo e da válvula manual no encanamento de entrada do reservatório. Sendo necessário a interrupção temporária do abastecimento, cortes no encanamento de entrada e a instalação de um aparato consistindo de duas uniões soldáveis (para manutenção), uma extensão de cano PVC e duas luvas roscáveis, para fixação do sensor de fluxo.

3.3.2 Testes e Monitoramento

Devido ao grande volume dos reservatórios, a criticidade do abastecimento do Prédio K, o longo tempo para o enchimento do reservatório e os demais riscos envolvidos, não foi viável a execução de um teste generalizado através do esvaziamento e enchimento completo do reservatório. Tendo isso em vista, foi necessário executar testes de integração simples, de forma isolada, em cada componente.

Para os sensores de nível boia, o próprio aparato foi inserido e retirado do reservatório, verticalmente, simulando o efeito esperado no caso da variação do nível de água do reservatório. Todos os 4 sensores boia responderam satisfatoriamente, sem atrasos e nem inconsistências.

O sensor de fluxo foi testado através da abertura e fechamento manuais da boia de controle do reservatório, observando que o mesmo respondeu de forma satisfatória ao fluxo sendo interrompido e restaurado.

O sensor de ultrassom foi testado ao longo de várias semanas, acompanhando a redução visível do nível do reservatório, mostrando uma correlação proporcional à redução e restauração do nível do reservatório.

Após a constatação de que todos os sensores estavam respondendo como o esperado, o projeto entrou em fase de monitoramento, sendo acompanhado de forma remota já pela interface do HomeAssistant e por visitas presenciais ao local de instalação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES

4.1.1 Sensor Ultrassônico HC-SR04

O Sensor HC-SR04 teve a sua utilização reprovada no projeto, considerando a instabilidade do mesmo já nos testes iniciais e o fato de sua placa de controle ser totalmente exposta, apresentando um grande risco de oxidação ao longo do tempo, considerando que o sensor seria posicionado dentro do reservatório, que fica em um local quente e propenso a evaporação e condensação.

4.1.2 Sensor Ultrassônico JSN-SR04T

Durante a coleta de dados, algumas amostras não retornaram valores (timeout). Este problema foi mitigado aplicando uma lógica de verificação durante a coleta de dados, aliada ao oversampling com fator 12x e 32x. Mesmo com estes desafios, o sensor JSN-SR04T demonstrou ser mais robusto, preciso e confiável em comparação aos sensores ultrassônicos comuns, como o HC-SR04. Além disso, o JSN-SR04T possui um alcance maior (20 a 600 cm) e o sensor é fisicamente separado da placa de controle, diferentemente do HC-SR04, o que o torna mais adequado para aplicações dentro de reservatórios de água.

Não foi observada diferença significativa na leitura, erro e desvio padrão entre medições realizadas contra uma parede e contra um corpo d'água em um balde de 100 litros. No entanto, não foram realizados testes para verificar se uma eventual

precipitação dentro do reservatório, devido a fatores como temperatura e evaporação, poderia afetar as leituras de alguma forma.

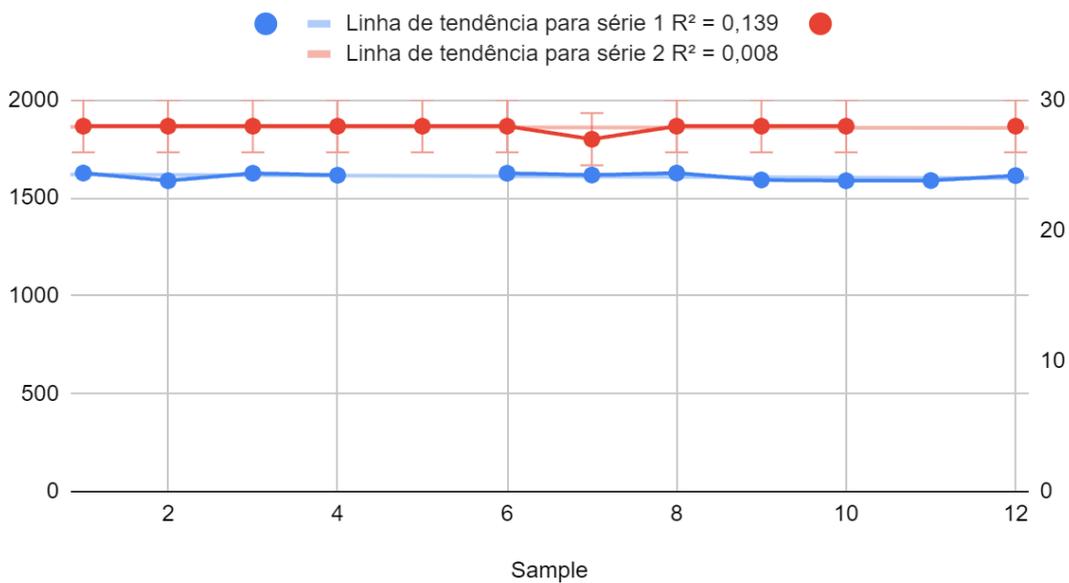
Tabela 6 - Medidas coletadas do sensor JSN-SR04T em várias distâncias

cm	µs	cm	µs	cm
Distância Nominal	AvgEchoTime	AvgEchoDist	TimeOvesampling	DistOversampling
30	1616	28	[1627,1588,1626,1616,0,1626,1617,1627,1592,1588,1589,1614]	[28,28,28,28,28,28,27,28,28,28,0,28]
60	3242	56	[3240,3253,0,3240,3240,3252,0,3252,0,3241,3241,3240]	[57,56,56,57,57,56,57,56,56,0,57,56]
90	5029	88	[5025,5026,5030,5039,5029,5038,5029,5038,5028,5039,5029,5037]	[88,88,88,88,88,88,88,88,88,88,88,88]
120	6742	118	[0,6753,6753,6745,6755,6742,6755,6742,6753,6754,0,6727]	[118,118,0,118,0,118,0,118,118,118,118,118,118]
150	8477	148	[8500,8479,8502,8475,8489,8487,8488,8476,8476,8476,8489,8504]	[148,0,148,149,148,149,148,148,148,148,148,148]
180	10228	179	[0,10229,10237,10229,0,10226,10228,10226,10229,10227,10237,0]	[0,179,179,179,179,179,179,179,179,179,179,179]

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 1 - Resultado no Sensor Ultrason a 30cm

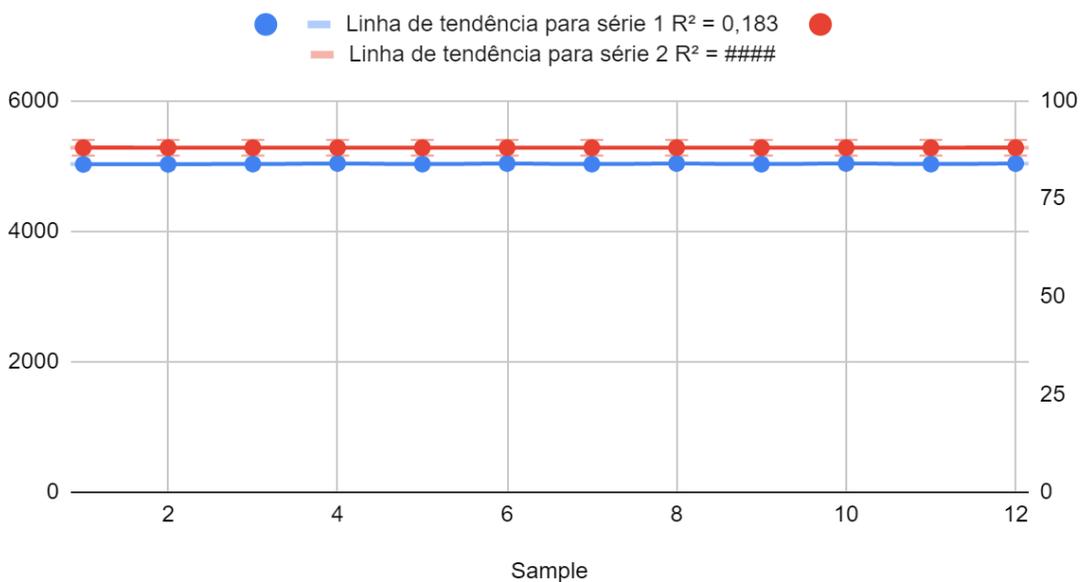
RTT e Distance



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 2 - Resultado no Sensor Ultrason a 90cm

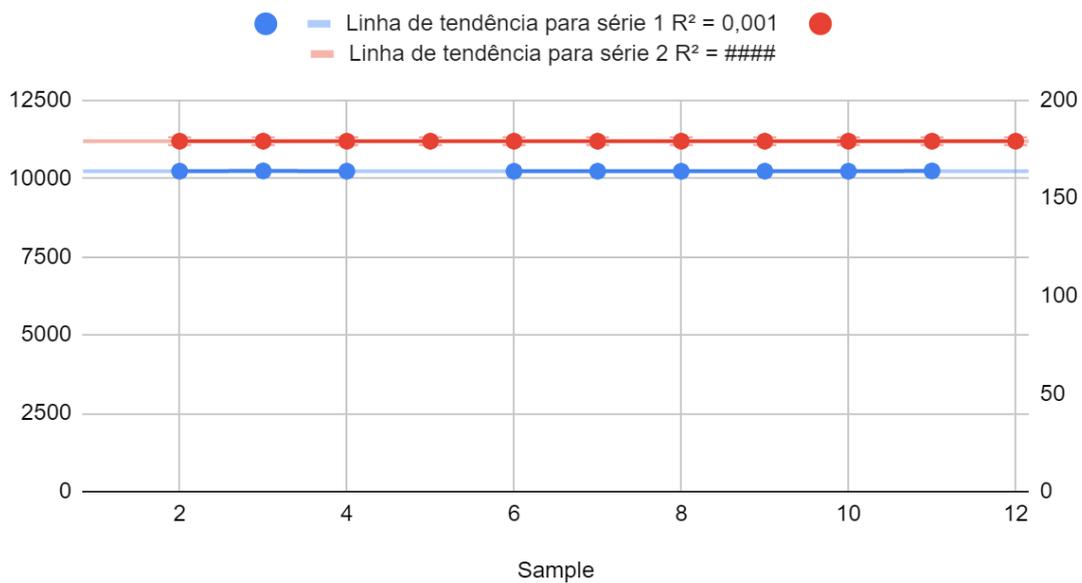
RTT e Distance



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 3 - Resultado no Sensor Ultrassom a 180cm

RTT e Distance

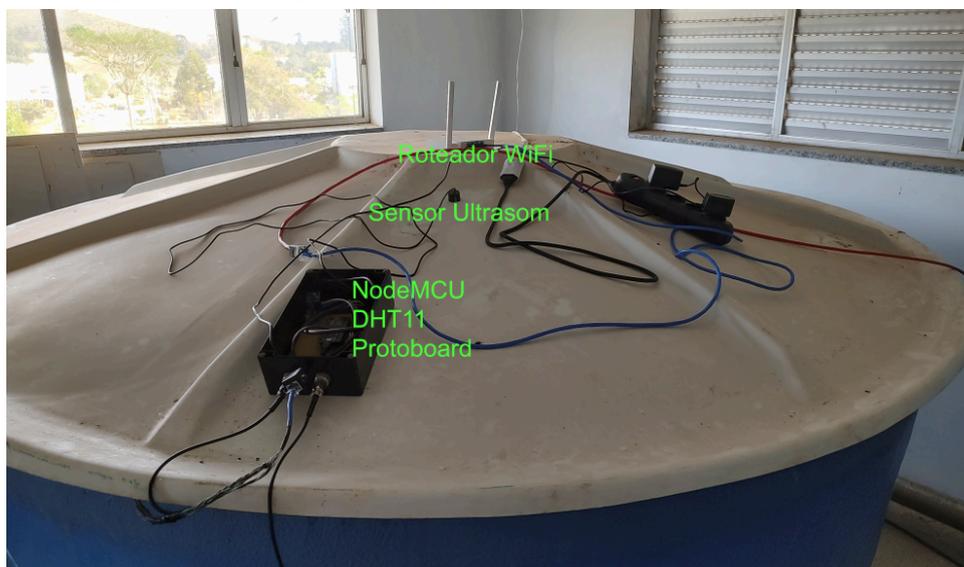


Fonte: Autor (2023)

Estes resultados indicam que, dentre as opções avaliadas, o JSN-SR04T foi a opção mais viável para medições em ambientes com condições adversas, como reservatórios de água, devido à sua robustez, precisão e isolamento da placa controladora. Testes adicionais são recomendados para avaliar o desempenho do sensor em condições de precipitação interna do reservatório.

4.2 INSTALAÇÃO FINAL

Figura 28 - Projeto instalado no reservatório do Prédio K.



Fonte: Autor (2024)

Figura 29 - Sensor de fluxo e válvula na entrada da caixa d'água;



Fonte: Autor (2024)

4.3 CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA

Ao comparar a solução abordada neste projeto com as vistas na revisão bibliográfica, especialmente as do tipo DIY, observamos que o protótipo desenvolvido combinou várias ideias.

Ao analisar os níveis discretos entre o projeto e o tutorial da RoboCore, percebe-se que, apesar da utilização de sensores diferentes - boias e sensores sem contato, respectivamente - o resultado é semelhante. No entanto, no projeto do Prédio K são utilizados quatro sensores de nível boia, proporcionando uma melhor granularidade na avaliação do estado do reservatório. Já no artigo, são utilizados apenas dois sensores para indicar os níveis alto e baixo. Além disso, a finalidade da proposta apresentada no artigo diverge da proposta do projeto: no artigo, os sensores ativam ou desativam uma bomba para encher o recipiente, enquanto no projeto desenvolvido, o objetivo é apenas o monitoramento do nível do reservatório.

Analisando a utilização do sensor de ultrassom para medição de volume no projeto e no tutorial da MakerHero, percebe-se que as abordagens foram semelhantes, mesmo com a utilização de plataformas de integração e sensores diferentes. Os resultados encontrados foram semelhantes, mas vale destacar que o sensor escolhido no tutorial não é à prova d'água, podendo falhar ou apresentar mau funcionamento em contato com o líquido, como especulado na avaliação do sensor HC-SR04.

Em relação aos planos de contingência mencionados, ao comparar com um caso que avalia todo o estado do Distrito Federal, uma abordagem mais detalhada de todas as fontes seria inviável. Portanto, o plano foi criado com base em informações mais macro do sistema climático e boletins diários sobre o estado das reservas, visando uma abordagem mais preventiva em situações de crise.

No caso da Univasf, seria possível evitar o problema ocorrido se um sistema como o do projeto tivesse sido implantado, já que a descoberta da falta d'água foi feita de forma tardia, causando transtornos na universidade. A solução apontada por eles, de aumentar a capacidade dos reservatórios com mais reservatórios, é válida, porém não elimina o problema da falta de monitoramento adequado.

4.3.1 Primeiros dados após a instalação do protótipo

Figura 30 - Interface demonstrando os dados



Fonte: Autor (2024)

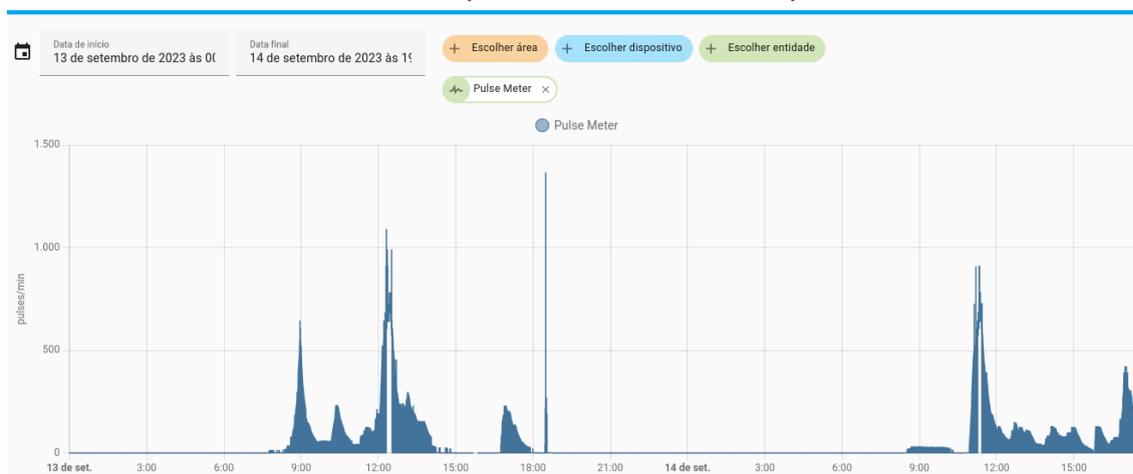
Nas primeiras coletas após a instalação do protótipo, foi observado que nos dois horários de maior pico durante o dia, as curvas eram condizentes com o alto consumo (Gráfico 4) e abastecimento do reservatório (Gráfico 5). Durante esta análise, não houve uma variação de volume considerável a ponto de alterar o estado do sensor discreto de nível (os sensores boia de alto, médio, baixo e muito baixo).

Gráfico 4 - Medição (estimada) do volume da caixa d'água



Fonte: Autor (2024)

Gráfico 5 - Momentos em que o sensor de fluxo apresentou atividade



Fonte: Autor (2024)

4.3.2 Incidente com o projeto

Figura 31 - Rompimento do cano no reservatório do Prédio K



Fonte: Autor (2024)

Na sexta-feira, dia 29/03/2024, pela manhã, foi notado um grande vazamento de água (Figura 31) originário das instalações hidráulicas dos reservatórios de água do Prédio K. Após os devidos acionamentos, foi fechada a válvula de entrada de água do prédio. Porém, devido a grande quantidade de água (mais de 30m³, segundo as fontes da CAF/Direção), nesta segunda-feira foram notados danos estruturais nos pisos de cerâmica (descolamento e quebra de alguns pisos),

infiltração de água pelo teto das salas e escorrimento de água pelas paredes do Prédio K.

O vazamento teve origem em um rompimento (Figura 32) no segmento do encanamento de entrada de água no reservatório principal do Prédio K, logo após a primeira curva ("joelho") e antes do sensor do nível e abastecimento dos reservatórios. A instalação do respectivo sensor seguiu as normas técnicas, práticas comuns e recomendações dos fabricantes das conexões, colas, adesivos e do próprio sensor.

Figura 32 - Ampliação do local do rompimento



Fonte: Autor (2024)

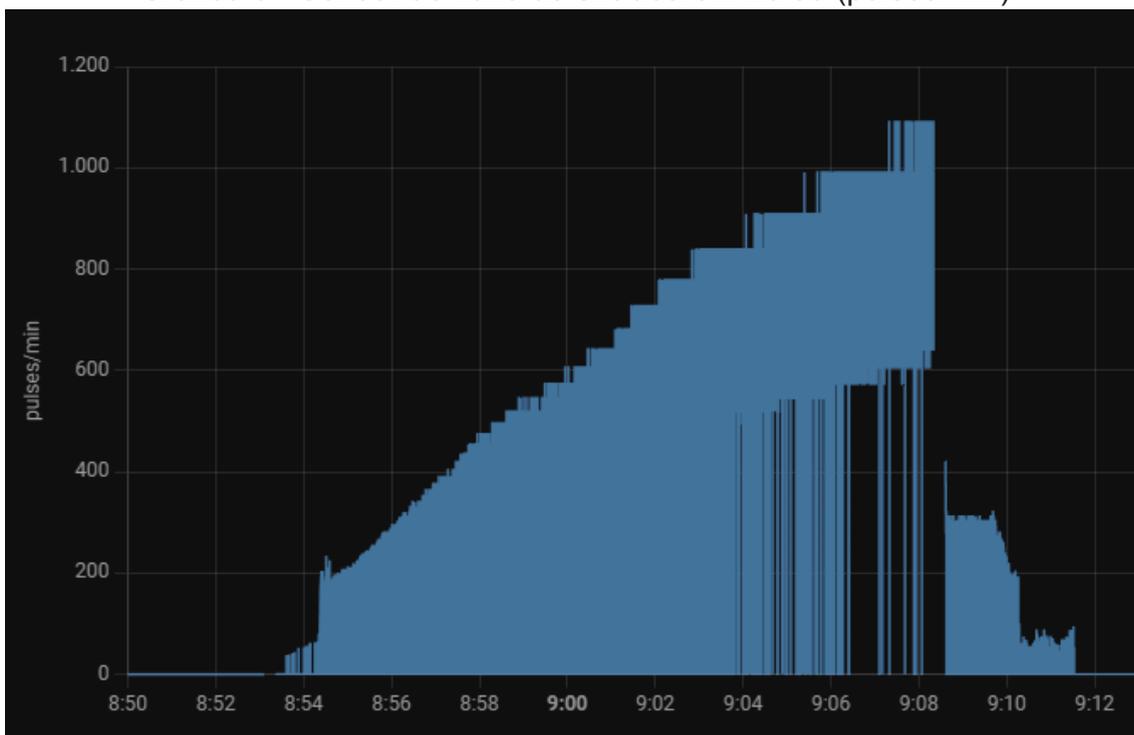
Após o relato, foi possível verificar os sensores do projeto para observar se o motivo para o rompimento do cano era visível. Com base na mudança abrupta dos sensores (Gráficos 6 e 7), foi inferido que o incidente ocorreu por volta das 9 horas e 8 minutos do dia 26/03/2024, quando o sensor de fluxo reportou um valor de vazão fora do normal (1.090,91 pulsos/min).

Tabela 7 - Linha do tempo do período relevante ao rompimento.

Dia	Horário	Análise
26/03	04h00	O sensor de fluxo indicava fluxo zero de água na entrada; O sensor de nível indicava aprox. 7.395,58 Litros no reservatório;
26/03	06h00	O sensor de fluxo indicava fluxo zero de água na entrada; O sensor de nível indicava aprox. 7.387,25 Litros no reservatório (~ 8,33 L consumidos em 2h);
26/03	08h00	O sensor de fluxo indicava fluxo zero de água na entrada; O sensor de nível indicava aprox. 7.362,26 Litros no reservatório; (~ 24,99 L consumidos em 2h)
26/03	08h53m36s	O sensor de fluxo começou a indicar um fluxo de abastecimento com 35,66 pulsos/min; O sensor de nível indicava aprox. 7.360,87 Litros no reservatório;
26/03	09h06m38s	O sensor de fluxo indicava um abastecimento em fluxo crescente (sinal de que a boia estava se abrindo cada vez mais, ainda que o fluxo de entrada estivesse acontecendo), indo de 35,66 pulsos/min para 991,74 pulsos/min (para comparação, o pico mais alto dos últimos 15 dias atingiu apenas 340,91 pulsos/min, indicando um fluxo de abastecimento 3x maior do que o padrão, no dia do ocorrido); O sensor de nível indicava aprox. 7.404,60 Litros no reservatório (43,73 Litros abastecidos em 778 segundos (12m58s); 3,37 Litros por minuto);
26/03	09h08m19s	O sensor de fluxo foi interrompido abruptamente, tendo 1.090,91 pulsos/min como sua última leitura (evento atribuído ao momento do rompimento);
26/03	09h09m17s	O sensor de fluxo, agora indicando o fluxo reverso, na faixa dos 270 pulsos/min; O sensor de nível indicando aprox. 7.395,58 Litros no reservatório e diminuindo, desde o incidente;
26/03	09h11m32s	O sensor de fluxo passou a indicar 0 pulsos/min, possivelmente devido ao nível da água do reservatório estar abaixo do nível do cano de entrada, interrompendo o fluxo de retorno da água.

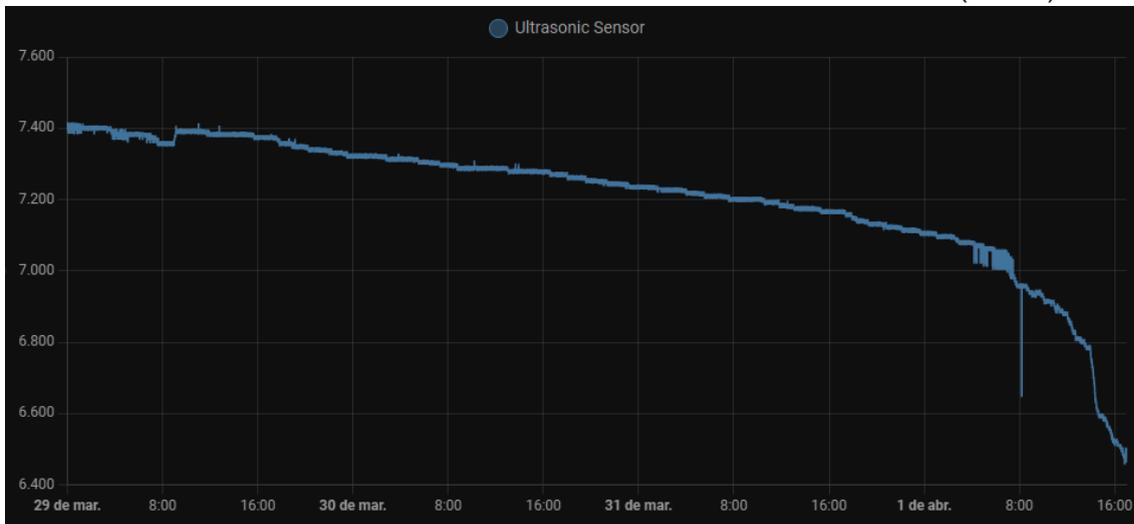
Fonte: Autor (2024)

Gráfico 6 - Sensor de fluxo de entrada em 26/03 (pulsos/min)



Fonte: Autor (2024)

Gráfico 7 - Sensor de nível do reservatório de 26/03 a 01/04 (Litros)



Fonte: Autor (2024)

A principal hipótese que foi considerada para o ocorrido, foi a ocorrência de um golpe de aríete, ou um aumento anormal na pressão do abastecimento, entre 09h06 e 09h08. Considerando que o abastecimento dos reservatórios do Prédio K provém do reservatório principal no limite superior do terreno do Campus, propulsionado pela gravidade durante a queda d'água, somado com a idade do encanamento utilizado, a baixa temperatura da água no horário e o fechamento

progressivo da boia no momento do rompimento, tudo se levou a crer que o aumento da pressão em um curto período de tempo possa ter causado o rompimento/quebra da seção do encanamento ilustrada na Figura 32, independente da existência do sensor ou não.

Um ponto de atenção após o ocorrido foi a identificação da não existência de um mecanismo para a extravasão de água próximo aos reservatórios, popularmente conhecido como “ladrão”, mecanismo o qual evitaria o alagamento e os danos causados nas áreas do prédio.

Após o ocorrido, as equipes de limpeza efetuaram a secagem do ambiente, o incidente foi reportado para a Administração do Campus e as devidas medidas administrativas foram tomadas. A conclusão foi de que o sensor não foi o causador do rompimento, apenas pode ter fragilizado a estrutura que já estava sendo vítima de golpes de aríete constantes.

5 CONCLUSÕES

5.1 CUSTO DO PROTÓTIPO

Tabela 8 - Preços dos componentes utilizado no projetos

Componentes	Preço (R\$)
Sensor Ultrassom - JSN-SR04T	18,35
NodeMCU ESP8266	21,32
Extensor de Pinos PCF8574	15,10
Sensor de Fluxo de água - FS300A	12,93
4x Sensor de Boia Horizontal	17,54 (uni.)
DHT11	7,50
Sensor Temp. da água - DS18B20	11,40
2x União Soldável	4,99 (uni.)
2x Luva Soldável com rosca	3,99 (uni.)
Roteador WiFi (opcional)	74,60
Régua de Tomada (opcional)	15,90

Fonte: Autor (2024) - Coletado em 01/07/2024

5.2 FUNCIONAMENTO ATUAL

O projeto se consolidou com os sensores (temperatura e umidade ambiente, temperatura submersa, níveis boia, nível por ultrassom e fluxo de entrada) sendo lidos pelo NodeMCU, que está conectado ao Roteador WiFi em modo repetidor, com os dados sendo enviados pelo ESPHome via MQTT para o servidor do HomeAssistant.

5.3 SUGESTÕES FUTURAS

5.3.1 Sensor de pressão

Implantação de um sensor de pressão no encanamento de entrada do reservatório, para monitorar e registrar eventuais novos golpes de aríete e surtos de pressão no abastecimento.

5.3.2 Consolidação do acesso a interface

Documentar e treinar as equipes do Campus para acesso a interface para acompanhamento e observação dos dados coletados pelos sensores e eventuais avisos de interrupções no abastecimento.

5.3.3 Sistema de alertas

Implantação de um sistema de notificação via SMS, Email ou WhatsApp, nos casos de detecção de interrupções do abastecimento, anomalias no fluxo de entrada e/ou no nível do reservatório e mudanças bruscas nas métricas.

5.3.4 Substituição de sensores

Substituição dos sensores de nível boia por um outro sensor ultrassônico, desta forma, possibilitando uma redundância na leitura do sensor atual e a dispensa dos sensores discretos que só demonstram utilidade nos casos de uma variação muito considerável do nível do reservatório.

5.4 CONCLUSÃO FINAL

A implementação do sistema de monitoramento remoto de nível e fluxo de abastecimento de reservatório de água potável no Campus de Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas demonstrou ser uma solução eficiente e de baixo custo para auxiliar na gestão dos recursos hídricos. A utilização de sensores ultrassônicos, de boia e de fluxo, integrados através da plataforma NodeMCU, possibilitou a coleta de dados em tempo real, facilitando o acompanhamento do fluxo de abastecimento do Campus. O desenvolvimento do sistema, com interface intuitiva no Home Assistant, comprovou que tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT) podem ser aplicadas de forma prática e eficiente também em ambientes acadêmicos.

A abordagem DIY (faça você mesmo) adotada no projeto permite uma replicação fácil e manutenção simples, viabilizando a extensão do sistema para outros reservatórios do Campus ou para outras instituições que enfrentam desafios similares. A transferência de tecnologia para a gestão do Campus destaca o potencial do projeto para promover uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos, alinhada às necessidades crescentes de conservação e uso racional da água.

REFERÊNCIAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. Jornalista da Assessoria de Comunicação Social (ed.). **Campus Avançado de Poços de Caldas**. 2012. Ana Carolina Araújo. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/comunicacao/campusavancadodepocosdecaldas>>.

Acesso em: 03 de julho de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. Pró-Reitoria de Planejamento, Orçamento e Desenvolvimento Institucional. **Obras em Andamento**. 2023. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/planejamento/obras-unifal-mg-cpo/>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. **Portal de Dados Abertos**. 2024. Disponível em: <<https://sistemas.unifal-mg.edu.br/app/si3/home.php>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/index?id=315180>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

SABESP. **Meio Ambiente» Uso Racional da Água» Dicas de economia» Em casa**. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/default.aspx?secaold=595>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

MANDAI, Ícaro Hissao Rocha. **Registro pessoal**. Dados observados entre 2017 e 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. **Memo. Proplan 254/2014 Protocolo de Intenções para implantação do Campus Avançado de Poços de Caldas**. 2014. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/proaf/wp-content/uploads/sites/129/2020/02/Protocolo-de-inten%C3%A7%C3%B5es-para-implanta%C3%A7%C3%A3o-do-Campus-Avan%C3%A7ado-de-Po%C3%A7os-de-Caldas.pdf>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

TOPOGRAPHIC MAP. **Mapa topografico Brasil, altitude, relevo**. 2024. Disponível em: <<http://pt-br.topographic-map.com/map-g825k/Brasil/?center=-21.81919%2C-46.661&zoom=16&base=6>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. **Planta Baixa Poços**. 2019. Disponível em:

<<http://www.unifal-mg.edu.br/planejamento2/wp-content/uploads/sites/53/2019/01/Planta-Baixa-Poços.pdf>>. Acesso em 02 de Julho 2024.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2 ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013

RODRIGUES, L. G. R. **Vasos comunicantes - Hidráulica - Física**. 2020. Disponível em:

<<https://www.infoescola.com/fisica/vasos-comunicantes/>>. Acesso em: 01 de julho de 2024.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Plano de Contingência: Crise Hídrica**. Brasília: Secretaria de Estado da Segurança Pública e da Paz Social, Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil. 2017. Disponível em:

<https://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2020/02/Anexo1_Plano-de-contin-g%C3%AAncia-Crise-h%C3%ADdrica.pdf>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Nota à comunidade sobre a falta de água no CCA**. 2023. Disponível em:

<<https://portais.univasf.edu.br/noticias/nota-a-comunidade-sobre-a-falta-de-agua-no-cca>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

MercadoLivre. **Automação De Caixa De Água - Monitoramento De Nível De Água #907896169**. 2024. Disponível em:

<<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-907896169-automaco-de-caixa-de-agua-monitoramento-de-nivel-de-agua- JM>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

Nextcon. **Sensor De Nivel Caixa D'água Wifi - Hidronivel No Celular**. 2024. Disponível em:

<www.nextcon.com.br/MLB-1012594862-sensor-de-nivel-caixa-dagua-wifi-hidronivel-no-celular- JM>. Acesso em 02 de julho de 2024.

MAKERHERO. **Monitore o volume na sua caixa d'água com o MakerHero**. 2020. Disponível em:

<<https://www.makehero.com/blog/monitore-o-volume-na-sua-caixa-dagua>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

ROBOCORE. **Controle de nível com Arduino**. Disponível em:

<<https://www.robocore.net/tutoriais/controle-nivel-arduino>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

EasyTronics. **Sensor Ultrassônico JSN-SR04T 2.0**. 2024. Disponível em <<https://www.easytronics.com.br/jsn-sr04t-sensor-ultrassonico>>. Acesso em 02 de julho de 2024.

ITEADSTUDIO. **Ultrasonic ranging module : HC-SR04**. 2013. Disponível em: <<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HC-SR04-datasheet-version-2.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2024.

UserInfo. **Sensor de Nível de Água Horizontal tipo Boia**. 2024. Disponível em <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-nivel-arduino/sensor-de-nivel-de-agua-horiz-ontal-tipo-boia-5515.html>>. Acesso em 02 de julho de 2024.

UserInfo. **Nodemcu V3 Esp8266 ESP-12E Iot com WiFi**. 2024. Disponível em <www.usinainfo.com.br/nodemcu/nodemcu-v3-esp8266-esp-12e-iot-com-wifi-4420.html> Acesso em 02 de julho de 2024.

easyelectronicprojects. **Home Automation using NodeMCU & Blynk App (IoT) – WiFi Relay Module**. 2024. Disponível em: <<https://easyelectronicproject.com/esp32-projects/home-automation-nodemcu-blynk-relay-1/>>. Acesso em 03 de julho de 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **PCF8574 | Buy TI Parts | TI.com**. 2024. Disponível em: <<https://www.ti.com/product/PCF8574/part-details/PCF8574N>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

Arm Mbed. **PCF8574 I2C IO Expander - Cookbook | Mbed**. 2024. Disponível em: <<https://os.mbed.com/cookbook/PCF8574-I2C-IO-Expander>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

TECNOTRONICS. **Sensor De Fluxo De Água 3/4 | Tecnotronics a sua loja de Arduino**. Disponível em: <<https://www.tecnotronics.com.br/sensor-de-fluxo-de-agua-3-4-1-60-l-min.html>>. Acesso em: 04 de julho de 2024.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **Como Funcionam os Sensores de Fluxo de Água (ART4545)**. 2020. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/como-funciona/18035-como-funcionam-os-sensores-de-fluxo-de-agua-art4545.html>>. Acesso em: 04 de julho de 2024.

MAKERHERO. **Sensor de Umidade e Temperatura DHT11**. 2024. Disponível em: <<https://www.makehero.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>>.

Acesso em: 03 de julho de 2024.

COMPONENTS101. **DHT11 Sensor Pinout, Features, Equivalents & Datasheet**. Disponível em: <<https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>>.

Acesso em: 03 de julho de 2024.

RoboCore. **Sensor de temperatura DS18B20 - À Prova de Água**. Disponível em <<https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-de-agua>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

Dallas Semiconductor Corp. **DS18B20 Datasheet**. 2024. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/monitore-sua-caixa-dagua-usando-arduino/>>.

Acesso em: 02 de julho de 2024.

HOME ASSISTANT. **Home Assistant**. 2019. Disponível em: <<https://www.home-assistant.io/>>. Acesso em: 03 de julho 2024.

MQTT.org. **MQTT - The Standard for IoT Messaging**. Disponível em: <<https://mqtt.org/>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

ESPHOME. **ESPHome**. 2024. Disponível em: <<https://esphome.io/>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.