



Monitoramento Hidrometeorológico de Baixo Custo para Alerta Precoce de Enchentes Utilizando ESP32

Marcos Antonio Jeremias Coelho | marcos.coelho@satc.edu.br¹

Gabriela Rocha Roque | gabriela.roque@satc.edu.br²

João Mota Neto | joao.neto@satc.edu.br³

Miguel Cintra Reis Pereira | miguel.cintra@satc.edu.br⁴

Alanis Tiscoski Salvador | alanis.tiscoski@satc.edu.br⁵

Jovani Castelan | jovani.castelan@satc.edu.br⁶

Trabalho de Extensão

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Estação de Monitoramento Ambiental Distribuída (EMAD) de baixo custo para apoio a sistemas de alerta precoce de enchentes. O sistema utiliza o microcontrolador ESP32 integrado a sensores para aquisição de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, índice pluviométrico e nível de rios. A metodologia envolveu o desenvolvimento de firmware em C++, fabricação de componentes por impressão 3D, integração eletrônica e ações extensionistas voltadas à disseminação do conhecimento técnico. O ESP32 foi selecionado devido à sua capacidade de processamento, conectividade integrada e baixo custo. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica do protótipo, com atualização periódica dos dados e operação estável em rede local. Limitações associadas à comunicação LoRa restringiram a transmissão em longa distância, caracterizando o sistema como uma solução em estágio de prototipagem. O projeto reforça a integração entre ensino, pesquisa e extensão ao propor uma tecnologia acessível com potencial aplicação no monitoramento hidrometeorológico.

Palavras-chave: monitoramento hidrometeorológico; sistemas embarcados; ESP32; prevenção de enchentes; IoT.

Introdução

Eventos hidrometeorológicos extremos têm se tornado mais frequentes no Brasil, ampliando impactos sociais, ambientais e econômicos associados às

¹ Professor do Departamento de Engenharia Mecatrônica da UniSATC.

² Professor do Departamento de Engenharia Mecatrônica da UniSATC.

³ Coordenador do Departamento de Engenharia Mecatrônica da UniSATC.

⁴ Estudante do curso Engenharia Mecatrônica da UniSATC.

⁵ Egressa do curso Engenharia Mecatrônica da UniSATC.

⁶ Pró-reitor de Ensino e Extensão da UniSATC.

enchentes. A disponibilidade de dados ambientais em tempo real é fundamental para apoiar ações preventivas e subsidiar a gestão de riscos. Em Santa Catarina, especialmente em regiões historicamente vulneráveis, o monitoramento contínuo dessas variáveis constitui uma ferramenta importante para a mitigação de desastres.

A utilização de sistemas embarcados e tecnologias de Internet das Coisas possibilita o desenvolvimento de soluções de monitoramento de baixo custo e ampla aplicabilidade. Nesse contexto, a aquisição de variáveis como temperatura, pressão atmosférica, precipitação e nível de rios contribui para a identificação de condições associadas à ocorrência de eventos hidrológicos extremos, reforçando a importância de dados confiáveis para a tomada de decisão (Tucci, 2012).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estação de monitoramento ambiental de baixo custo baseada no microcontrolador ESP32, concebida no âmbito de uma atividade extensionista. A proposta integra monitoramento hidrometeorológico, desenvolvimento tecnológico e disseminação do conhecimento, buscando contribuir para futuras aplicações voltadas à prevenção de enchentes e à conscientização da comunidade.

Descrição do público envolvido

O projeto envolveu acadêmicos de Engenharia Mecatrônica e comunidade externa interessada em monitoramento ambiental e prevenção de enchentes. Os estudantes atuaram no desenvolvimento da solução e na divulgação do conhecimento técnico, aplicando conceitos de sistemas embarcados e Internet das Coisas (MARINO *et al*, 2023).

Do ponto de vista tecnológico, a solução proposta foi estruturada com base no microcontrolador ESP32, escolhido por sua capacidade de processamento, conectividade Wi-Fi integrada e baixo custo. A arquitetura adotada utilizou sensores conectados por barramento I2C. A topologia de rede local baseou-se no protocolo de comunicação serial síncrona I2C, otimizando o endereçamento de múltiplos escravos (sensores) em um único barramento.

A aquisição das variáveis hidrometeorológicas foi realizada por diferentes sensores. A aquisição das variáveis ambientais foi realizada por sensores BMP280,

AHT10, VL53L0X, pluviômetro e anemômetro, integrados ao ESP32 para obtenção de temperatura, pressão atmosférica, nível do rio, precipitação e velocidade do vento. Conforme Tucci (2012), a integração dessas variáveis é fundamental para a análise hidrológica e para a antecipação de eventos críticos.

A Figura 1 apresenta o protótipo desenvolvido da estação de monitoramento ambiental, evidenciando a integração entre estrutura mecânica e sistema eletrônico.

Figura 1 – Protótipo da Estação de Monitoramento Ambiental em 3D



Fonte: Arquivo do projeto.

Procedimentos metodológicos

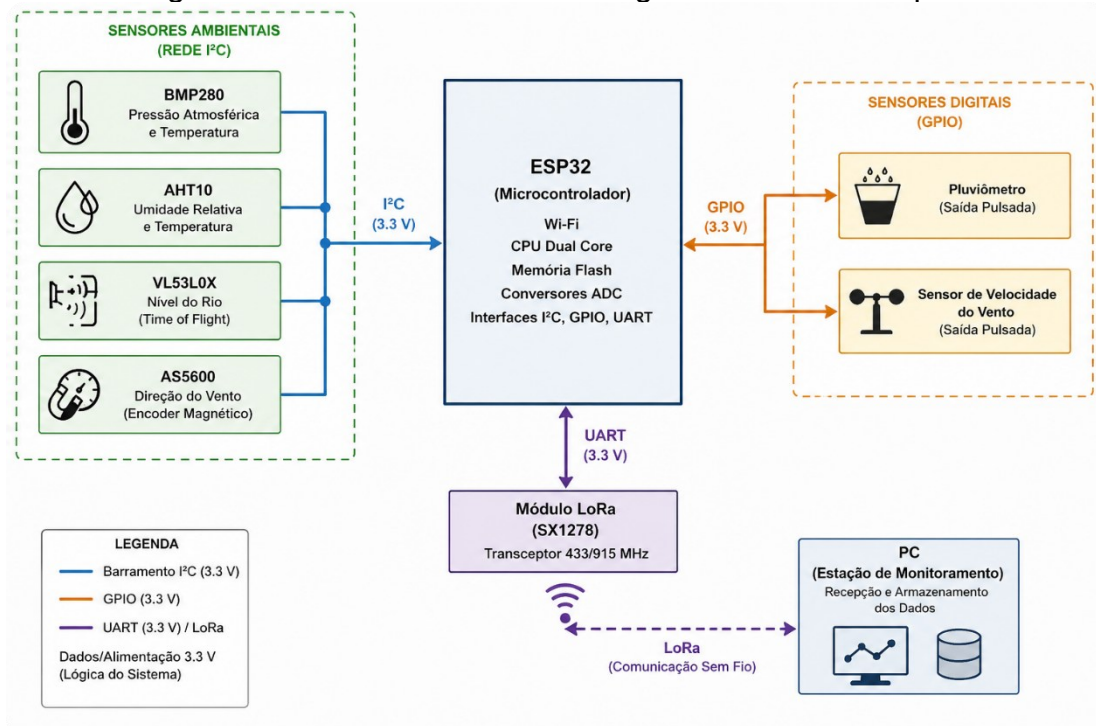
A metodologia adotada foi estruturada em três etapas: desenvolvimento técnico, validação experimental e ações extensionistas.

Na etapa de desenvolvimento técnico, realizou-se a seleção e integração de bibliotecas de código aberto para implementação dos sensores no ambiente de programação do ESP32. O firmware foi desenvolvido em linguagem C para aquisição e processamento dos dados ambientais. O software executa rotinas periódicas de aquisição e disponibilização dos dados em tempo real.

Na etapa de validação experimental, procedeu-se à montagem física do sistema em protoboard, conforme ilustrado na Figura 2, seguida da integração dos sensores e testes funcionais de calibração. Pluviômetro e anemômetro foram fabricados por impressão 3D. A validação dos sinais pautou-se em princípios

fundamentais de instrumentação, garantindo coerência entre sinais elétricos e grandezas físicas monitoradas (Ogata, 2015).

Figura 2 – Detalhamento da montagem do circuito em protoboard



Fonte: Engenharia Mecatrônica UNISATC.

Adicionalmente, foi prevista a utilização de comunicação via LoRa para transmissão de dados em longas distâncias. Entretanto, limitações na camada física e inconsistências na modulação LoRa impediram o estabelecimento de um enlace estável a longas distâncias, restringindo a arquitetura final à comunicação em rede local (Bonilla, Campoverde e Yoo, 2023); Semtech, 2024).

A etapa extensionista consistiu na produção de conteúdos digitais voltados à disseminação do conhecimento desenvolvido. Foram elaborados materiais explicativos sobre montagem do sistema, funcionamento dos sensores e aplicações práticas, utilizando diferentes formatos digitais para ampliar o alcance junto ao público não especializado.

Nesta etapa do projeto, a interação com a comunidade externa ocorreu predominantemente por meio da divulgação de conteúdos educativos em plataformas digitais e da apresentação da proposta em instituições de ensino da

região. Embora ainda não tenham sido realizadas ações sistemáticas junto a comunidades diretamente afetadas por enchentes ou órgãos públicos de gestão de riscos, tais iniciativas são consideradas etapas futuras fundamentais para ampliação do impacto social do projeto.

Resultados e discussões

A solução desenvolvida demonstrou capacidade de aquisição e exibição de dados ambientais em tempo quase real, com taxa de amostragem entre dois e três segundos. As variáveis monitoradas foram apresentadas de forma organizada no terminal serial, permitindo análise integrada das condições ambientais.

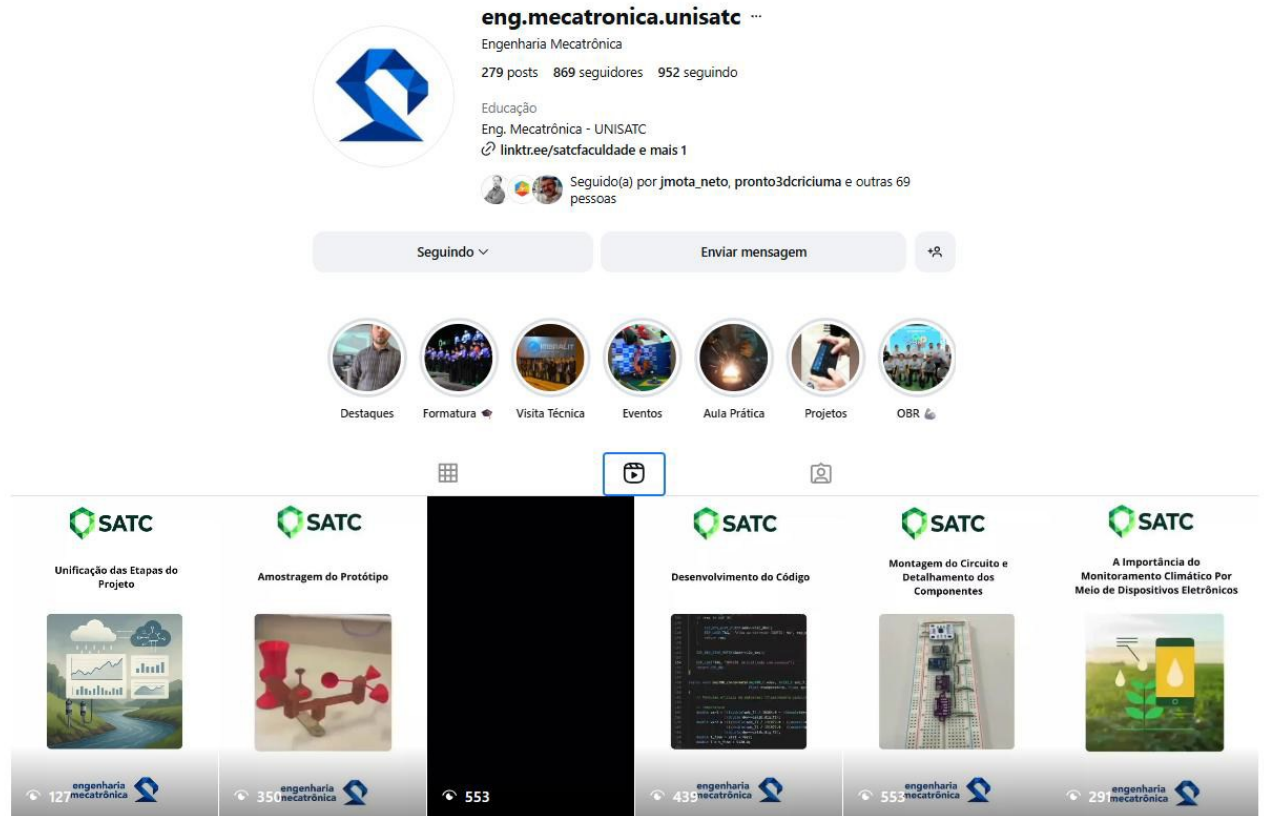
O custo total estimado do protótipo permaneceu inferior a R\$ 200,00, evidenciando viabilidade para aplicação em contextos com restrição de recursos, como instituições públicas de ensino e comunidades em situação de vulnerabilidade.

A Figura 3 apresenta os materiais produzidos para divulgação do projeto, os quais evidenciaram estratégias eficientes de disseminação do conhecimento. A análise de engajamento indicou maior alcance em conteúdos curtos disponibilizados em plataformas digitais, demonstrando a importância da adaptação da linguagem técnica para diferentes públicos. Foram identificados desafios relacionados à comunicação I2C e à integração simultânea de múltiplos sensores.

A utilização de ferramentas de apoio à programação baseadas em modelos de linguagem mostrou-se útil para aceleração do desenvolvimento, porém limitada pela necessidade de validação crítica dos códigos gerados. Durante os testes realizados, o sistema operou de forma estável, sem perda significativa de dados, indicando consistência na aquisição das variáveis ambientais.

Ressalta-se que os testes realizados ocorreram em ambiente controlado de laboratório e em condições experimentais de prototipagem. Dessa forma, embora os resultados indiquem viabilidade técnica da solução proposta, o sistema ainda não foi submetido a campanhas prolongadas de monitoramento em campo nem validado em situações reais de eventos hidrometeorológicos extremos. Assim, os resultados devem ser interpretados como evidências preliminares da funcionalidade do protótipo desenvolvido.

Figura 3 – Materiais de divulgação e engajamento nas redes sociais



Fonte: Arquivo do projeto.

A interação com instituições de ensino das regiões de Criciúma e Tubarão evidenciou o potencial de replicação do projeto, especialmente como ferramenta didática para introdução a sistemas embarcados e monitoramento ambiental.

Embora a comunicação via LoRa não tenha sido implementada na versão final, essa limitação contribuiu para a sistematização de desafios técnicos, servindo como base para aprimoramentos futuros.

Considerações finais

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do protótipo desenvolvido para aquisição e disponibilização de dados hidrometeorológicos em tempo quase real, utilizando componentes de baixo custo e arquitetura baseada no microcontrolador ESP32. A integração entre sensores e sistema embarcado

apresentou desempenho satisfatório durante os testes realizados em ambiente experimental.

Entretanto, é importante destacar que a solução ainda se encontra em estágio de prototipagem e validação laboratorial. Dessa forma, não foram realizadas campanhas de monitoramento contínuo em campo nem avaliações durante ocorrências reais de eventos extremos, aspectos que deverão ser contemplados em etapas futuras do projeto.

Do ponto de vista extensionista, as ações desenvolvidas concentraram-se principalmente na produção e divulgação de conteúdos técnicos em meios digitais, contribuindo para a disseminação do conhecimento relacionado ao monitoramento ambiental e aos sistemas embarcados. Como oportunidade de evolução, recomenda-se ampliar a interação direta com comunidades localizadas em áreas suscetíveis a enchentes, bem como fortalecer parcerias com órgãos públicos, especialmente a Defesa Civil e instituições responsáveis pela gestão de riscos ambientais.

Como continuidade do trabalho, pretende-se implementar comunicação de longa distância mais robusta, expandir a infraestrutura de monitoramento para ambientes externos, incorporar recursos de computação em borda e armazenamento em nuvem e realizar validações em condições reais de operação. Essas ações poderão ampliar a aplicabilidade do sistema no monitoramento hidrometeorológico e na emissão de alertas preventivos.

Referências

BONILLA, Vicky; CAMPOVERDE, Brandon; YOO, Sang Guun. A Systematic Literature Review of LoRaWAN: sensors and applications. **Sensors**, v. 23, n. 20, p. 8440, 13 out. 2023. MDPI AG.

MARINO, Pasquale; QUINTERO, Daniel Camilo Roman; SANTONASTASO, Giovanni Francesco; GRECO, Roberto. Prototype of an IoT-Based Low-Cost Sensor Network for the Hydrological Monitoring of Landslide-Prone Areas. **Sensors**, v. 23, n. 4, p. 2299, 18 fev. 2023. MDPI AG.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.



SEMTECH. **LoRaWAN Specification**. 2024. Disponível em:
<https://www.semtech.com/lora/lorawan-standard>. Acesso em: 23 out. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre:
UFRGS, 2012.