

**Evento:** XV Seminário de Inovação e Tecnologia ▾

SISTEMA DE AQUISIÇÃO REMOTA DE DADOS EM PCH VIA LORA: APLICAÇÃO DE SENSORES DE NÍVEL E VIBRAÇÃO¹

Francisco Luis Diello Bressan², Paulo Sérgio Sausen³, Mauricio de Campos⁴

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí; financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBIC/CNPq.

² Bolsista PIBITI/CNPq

³ Professor orientador da Bolsa

⁴ Professor pesquisador

INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta parte das atividades de um projeto maior desenvolvido em parceria com a empresa HidroEnergia, com financiamento da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). O objetivo geral é o desenvolvimento de soluções tecnológicas para o monitoramento e a manutenção preditiva de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), com foco em instrumentação e comunicação de dados em tempo real.

Neste recorte, destaca-se o desenvolvimento de dois sensores voltados ao aprimoramento do sistema de monitoramento de uma usina hidrelétrica: um sensor ultrassônico para medição do nível da água e um sensor de vibração para captar variações nos conjuntos turbina-gerador. Ambos foram integrados a um sistema de comunicação baseado em tecnologia LoRa, que garante a transmissão eficiente dos dados ao sistema de controle da usina.

O bolsista de Iniciação Tecnológica e Inovação atuou na concepção, montagem e testes desses sensores, conforme previsto em seu plano de trabalho. As etapas incluíram revisão bibliográfica, seleção de dispositivos, testes laboratoriais e validação em campo. O sensor de vibração utilizou o kit STEVAL-STWINKIT1B, que incorpora o acelerômetro triaxial IIS3DWB e um microcontrolador STM32. Para a medição de nível, utilizou-se o sensor ultrassônico TMLM12, que opera com base no princípio do tempo de trânsito (TECHMETER, [s.d.]).

A análise de vibração é amplamente empregada em manutenção preditiva, por permitir a detecção precoce de falhas mecânicas. Acelerômetros como o utilizado neste projeto fornecem dados sobre magnitude e frequência de sinais, operando com sensibilidade de 100



mV/g e faixa de 1 Hz a 10 kHz, auxiliando na antecipação de falhas inesperadas (SCHEFFER; GIRDHAR, 2004).

A comunicação sem fio dos dados foi viabilizada com módulos LoRa LILYGO T-Beam, adequados para ambientes industriais remotos. A solução contribui para a digitalização de processos em PCHs e para a formação prática do bolsista. Além disso, o projeto está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, 9 e 13 da Agenda 2030 da ONU.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho envolveu etapas de pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental e validação funcional dos dispositivos propostos. A atuação do bolsista concentrou-se no desenvolvimento e integração de um sistema de monitoramento composto por sensores embarcados e um módulo de comunicação sem fio, com foco na aplicação em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

Inicialmente, foram realizadas revisões bibliográficas sobre monitoramento de vibração e medição de nível em ambientes industriais, além de estudos comparativos entre diferentes tecnologias disponíveis para aquisição e transmissão de dados. Com base nos requisitos do sistema e na viabilidade de implementação, foram selecionados os dispositivos mais adequados às condições da usina parceira.

O sensor de vibração foi implementado com o uso do kit de desenvolvimento STEVAL-STWINKIT1B, que integra um microcontrolador STM32 e um acelerômetro triaxial industrial de alta sensibilidade (IIS3DWB). Este kit permitiu a aquisição de dados vibracionais de forma precisa, abrangendo as três direções espaciais. Paralelamente, para a medição do nível de água do reservatório, utilizou-se o sensor ultrassônico TMLM12, que opera pelo princípio do tempo de trânsito, fornecendo leituras confiáveis em ambiente externo (STMICROELECTRONICS, 2020; STMICROELECTRONICS, 2024).

A transmissão dos dados coletados foi viabilizada por meio do módulo LILYGO T-Beam AXP2101, baseado no microcontrolador ESP32 e equipado com comunicação LoRa. Essa escolha permitiu a cobertura de longas distâncias com baixo consumo de energia, característica essencial em regiões com acesso limitado à infraestrutura de rede. Para garantir a alimentação dos dispositivos, o sistema foi integrado a fontes de energia de 220V com conversores para 24V e 12V, regulados conforme a exigência de cada componente por meio de módulos específicos.



Todos os elementos eletrônicos foram encapsulados em uma caixa de proteção com certificação IP68, assegurando resistência à umidade, poeira e outras intempéries. A montagem física e os testes foram realizados em ambiente de laboratório, com posterior validação em campo junto à estrutura da PCH parceira.

Durante todo o processo, o bolsista foi responsável pelas tarefas de montagem dos circuitos, programação dos microcontroladores, testes de comunicação entre dispositivos e registro dos dados coletados. A metodologia adotada garantiu a replicabilidade do sistema e sua compatibilidade com ambientes industriais, respeitando critérios de robustez, confiabilidade e eficiência energética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da fase de desenvolvimento e testes do sistema de monitoramento, obteve-se uma solução funcional composta por dois subsistemas principais: o sensor de nível e o sensor de vibração, ambos integrados por meio de comunicação sem fio baseada em LoRa. A arquitetura final do sistema está representada na Figura 1, que ilustra o encapsulamento dos sensores, os módulos de aquisição e comunicação, bem como a distribuição entre os nós remotos e o nó mestre responsável pela recepção dos dados.

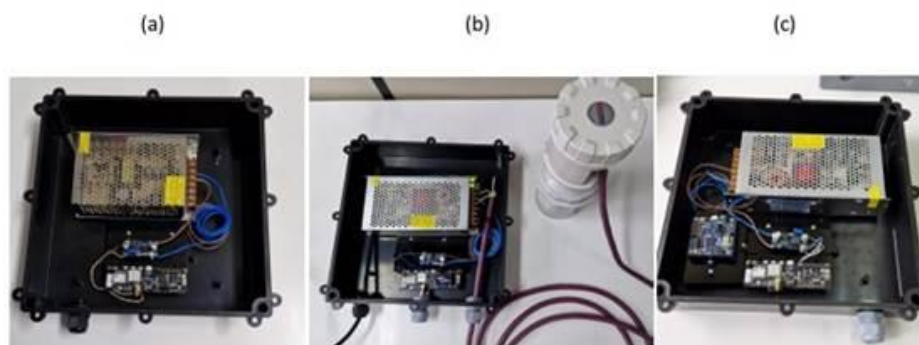


Figura 1 – Sistema desenvolvido (a) LoRa (b) sensor ultrassônico e (c) sensor de vibração. O sensor de nível, uma vez alimentado com tensão de 24V, inicia seu funcionamento automaticamente. Para garantir medições precisas, foi necessário configurar previamente a altura de instalação do sensor em relação ao solo. O dispositivo oferece duas opções de medição: "nível", que corresponde à altura do líquido no reservatório, e "distância", que representa o espaço entre o sensor e a superfície do líquido. Ambas as leituras são disponibilizadas por meio de uma saída de corrente de 4 a 20 mA, que é posteriormente convertida em sinal de tensão e lida pelo microcontrolador do módulo LILYGO T-Beam.



Com base na leitura do sinal digitalizado, implementou-se uma função no firmware do microcontrolador que utiliza a seguinte equação para calcular o nível de líquido:

$$N = H - \left[\frac{D - 635.0}{4095.0 - 635.0} \times H \right]$$

Onde H representa a altura total do sensor em relação ao fundo do reservatório, D é a leitura bruta da distância medida, e N é o nível resultante do líquido. A subtração do valor 635.0 justifica-se pelo offset introduzido pela corrente mínima de 4 mA do sensor, o que equivale a 635 unidades na escala de 12 bits do conversor analógico-digital. O valor final calculado é então transmitido via LoRa para o módulo mestre, utilizando um protocolo de comunicação previamente configurado na plataforma Arduino IDE.

Quanto ao sensor de vibração, a solução adotada utilizou o kit STEVAL-STWINKIT1B, fornecido pela STMicroelectronics, que vem pré-configurado com uma aplicação capaz de monitorar múltiplos parâmetros ambientais, como vibração, temperatura, pressão e umidade. As informações são inicialmente acessadas por meio do aplicativo ST BLE Sensor, via comunicação Bluetooth. No entanto, visando integrar o sensor ao sistema LoRa já implementado, optou-se por estabelecer uma comunicação serial UART entre o kit ST e um terceiro módulo LILYGO, que assumiu a função de retransmitir os dados ao nó mestre.

O sensor de vibração IIS3DWB, embarcado no kit ST, demonstrou desempenho satisfatório em aplicações industriais. Com capacidade de operação em temperaturas elevadas (até 105 °C), alta sensibilidade e resposta em frequência na faixa de 0 a 3 kHz, o sensor foi configurado para coletar um buffer padrão de 1024 valores por eixo (X, Y e Z). A análise de frequência foi realizada por meio do firmware contido no pacote FP-IND-PREDMNT1, fornecido pela ST. Os dados resultantes foram identificados no buffer de memória e enviados via UART para o módulo LILYGO.

Devido à limitação de transmissão do protocolo LoRa, foi necessária a segmentação dos dados em blocos de até 256 bytes. Essa fragmentação viabilizou a transmissão sequencial dos pacotes de dados vibracionais, mantendo a integridade da comunicação com o nó mestre. A comunicação entre os dispositivos mostrou-se estável durante os testes de bancada, e os dados recebidos puderam ser reconstituídos com precisão para posterior análise.

Os resultados parciais indicam que a metodologia aplicada, baseada em sensoriamento distribuído e comunicação LoRa, é tecnicamente viável e apresenta potencial para aplicações



em sistemas de manutenção preditiva em PCHs. A continuidade do projeto prevê o acoplamento deste sistema a uma interface de visualização dos dados em tempo real, além de testes em ambiente de operação contínua, o que possibilitará avaliar sua robustez e eficiência energética em cenários reais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto demonstrou a viabilidade da implementação de um sistema de monitoramento remoto em Pequenas Centrais Hidrelétricas, integrando sensores de nível e vibração com comunicação via LoRa. O sensor TMLM12 apresentou precisão e estabilidade na medição de nível, enquanto o sensor IIS3DWB, embarcado no kit STEVAL-STWINKIT1B, permitiu a aquisição de sinais vibracionais nos três eixos, essenciais para a manutenção preditiva. A solução mostrou-se robusta, de baixo consumo energético e com potencial de expansão.

Palavras-chave: Monitoramento. LoRa. Manutenção Preditiva

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SCHEFFER, Cornelius; GIRDHAR, Paresh. *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. Elsevier, 2004. Disponível em:
[https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=tAvTO1t2mwkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=\(SCHEFFER%3B+GIRDHAR,+2004\).&ots=aEuM_U6Mzp&sig=zq89z_RE4nNcIIRXubAV1t28KAs](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=tAvTO1t2mwkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=(SCHEFFER%3B+GIRDHAR,+2004).&ots=aEuM_U6Mzp&sig=zq89z_RE4nNcIIRXubAV1t28KAs). Acesso em: 26 jul. 2025.
- STMICROELECTRONICS. *User Manual – UM2622: How to use the STEVAL-STWINKIT1 SensorTile Wireless Industrial Node for condition monitoring and predictive maintenance applications*. Rev. 6. 2020. 43 p. Disponível em:
<https://www.st.com/en/evaluation-tools/steval-stwinkt1.html>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- STMICROELECTRONICS. *User Manual – UM2777: How to use the STEVAL-STWINKIT1B SensorTile Wireless Industrial Node for condition monitoring and predictive maintenance applications*. Rev. 5. 2024. 44 p. Disponível em:
<https://www.st.com/en/evaluation-tools/steval-stwinkt1b.html#tools-software>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- TECHMETER. *Manual – Transmissor de Nível*. São Paulo: Techmeter Measurement & Control, [s.d.]. 12 p.