



## IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM COMUNICAÇÃO DE DADOS LORAWAN EM UM TRANSFORMADOR<sup>1</sup>

**Leonardo de Oliveira Altenhofen<sup>2</sup>, Taciana Paula Enderle<sup>2,3</sup>, Graziela Zorzo<sup>4</sup>, Luís Fernando Sauthier<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa desenvolvida na Unijuí; financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - PIBIC/UNIJUÍ.

<sup>2</sup> Bolsista UNIJUÍ; estudante do curso Engenharia Elétrica da UNIJUÍ.

<sup>3</sup> Professor orientador da UNIJUÍ.

<sup>4</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da UNIJUÍ.

<sup>5</sup> Professor do curso de Engenharia Elétrica e colaborador na pesquisa.

### INTRODUÇÃO

A eletricidade é fundamental para a infraestrutura moderna, afetando quase todos os aspectos da vida humana. Para que a energia elétrica chegue até as unidades consumidoras, é necessário um complexo sistema de distribuição, conhecido como Sistema Elétrico de Potência (SEP). O SEP é composto por componentes interconectados, incluindo geradores, linhas de transmissão, subestações e transformadores, que trabalham em conjunto para garantir o fornecimento contínuo e confiável (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA, 2010).

Dentre os componentes do SEP, os transformadores desempenham um papel relevante, são responsáveis por elevar ou reduzir a tensão da energia elétrica, permitindo sua transmissão eficiente a longas distâncias e sua distribuição aos consumidores finais. Devido à sua importância estratégica para o funcionamento de cidades e instalações industriais, a aquisição de transformadores não é um processo imediato, o que torna essencial o monitoramento contínuo de seu desempenho e confiabilidade (BENGTSSON, 1996).

Neste sentido, é fundamental compreender os fatores que influenciam sua vida útil (VU). Segundo Vilaithong et al. (2007), a VU é influenciada principalmente pela qualidade de sua isolamento sólida, que está diretamente relacionada à temperatura interna de operação. Em transformadores imersos em óleo isolante, a temperatura do ponto mais quente dos enrolamentos e a temperatura do topo do óleo são indicadores importantes.

Esta pesquisa é alicerçada na necessidade de avaliar de forma correta o estado de operação do transformador, especialmente considerando a dificuldade de obter medições em



equipamentos já instalados, principalmente no que se refere à temperatura do ponto mais quente (*hotspot*). Além disso, a aplicação de técnicas de inteligência artificial, como as Redes Neurais Artificiais, pode contribuir para a previsão de grandezas que não podem ser medidas diretamente, aprimorando as práticas de manutenção preditiva e aumentando a eficiência e confiabilidade do sistema.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é implementar um dispositivo de medição capaz de coletar dados relevantes de um transformador, como tensão, corrente e temperatura, e transmiti-los por meio da rede LoRaWAN disponível na UNIJUÍ. Essa abordagem visa facilitar o monitoramento remoto e contínuo dos transformadores, fornecendo informações para a avaliação de seu estado operacional e subsidiando a tomada de decisões de manutenção.

## **METODOLOGIA**

Para a realização dos experimentos descritos neste trabalho, foi utilizado um microcontrolador ESP32 (LILYGO Lora32 V2.1\_1.6) com capacidade de comunicação LoRaWAN. Esse microcontrolador será responsável por coletar os dados dos sensores de temperatura e da placa auxiliar de leitura de corrente e tensão, processá-los e transmiti-los através da rede LoRaWAN disponível na UNIJUÍ.

Os sensores de temperatura selecionados para este projeto foram o LM35 e o PT100, conhecidos por sua confiabilidade e ampla utilização em aplicações de monitoramento. Estes sensores estão conectados diretamente aos pinos de entrada analógica do ESP 32, permitindo a leitura precisa da temperatura.

Para a medição de corrente e tensão trifásica, utilizou-se uma placa de aquisição desenvolvida internamente pelo Grupo Automação Industrial e Controle (GAIC). A tensão é medida de forma direta, enquanto a corrente requer a utilização de sensores externos do tipo Bobina de Rogowski, escolhidos por suas vantagens e adequação aos requisitos do sistema de monitoramento de transformadores.

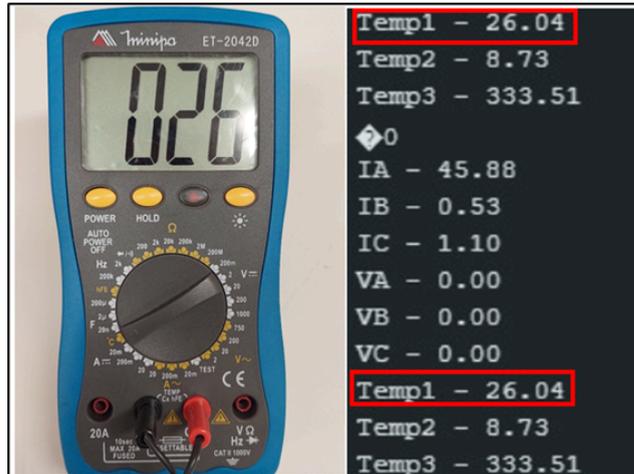
A comunicação entre a placa de aquisição e o ESP32 é realizada via interface serial, com uma taxa de transmissão de 38400 bps. A placa envia pacotes de dados de 100 *bytes* para o ESP32, contendo informações como cabeçalhos, dados de medição, bytes de checagem, dados adicionais e rodapés.





A precisão das medições de temperatura foi verificada comparando os resultados do protótipo com os do multímetro Minipa ET-2042D, apresentado na Figura 2, mostrando excelente concordância.

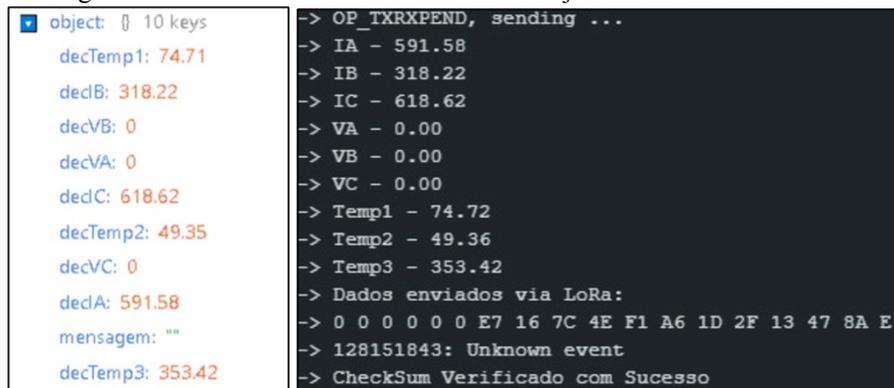
Figura 2 - Valores de temperatura obtidos no ensaio.



Fonte: Autor, 2024.

Os testes de transmissão de dados via LoRaWAN foram realizados, enviando pacotes de 18 bits a cada 60 segundos, conforme pode ser observado na Figura 3, comprovando a eficácia do sistema de comunicação.

Figura 3 - Valores recebidos no servidor da Unijuí e monitor serial do ESP.



Fonte: Autor, 2024.

Os resultados obtidos nos testes de validação demonstram que o dispositivo de aquisição de dados desenvolvido é capaz de realizar medições elétricas e de temperatura com precisão, além de transmitir os dados coletados de forma confiável através da rede



LoRaWAN, indicando que o protótipo está apto a ser utilizado no monitoramento de transformadores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho destacou a importância do monitoramento eficiente de transformadores no Sistema Elétrico de Potência (SEP). Com base na norma IEEE C57.91, desenvolveu-se um protótipo de aquisição de dados capaz de coletar e transmitir informações relevantes via rede LoRaWAN. Os testes iniciais do dispositivo foram promissores, demonstrando eficácia na aquisição e transmissão de dados.

Contudo, o protótipo ainda não foi testado em transformadores em operação, sendo necessária uma validação em ambiente real de subestação. Como trabalhos futuros, sugere-se a realização desses testes em um ambiente real de subestação, além da exploração de melhorias no dispositivo, incluindo recursos de autodiagnóstico, otimização energética e integração com sistemas de análise de dados e inteligência artificial.

**Palavras-chave:** Transformadores. Monitoramento. Aquisição de dados. LoRaWAN. Sistemas Elétricos de Potência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; ROBBA, E. J. Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

BENGTSSON, C. Status and trends in transformer monitoring. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 11, n. 3, p. 1379–1384, Jul 1996. ISSN 0885-8977.

VILATHONG, R.; TENBOHLEN, S. E STIRL, T., Neural network for transformer top-oil temperature prediction. Symposium on High Voltage Engineering. Ljubljana, Eslovênia, 2007.

IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators - Redline. IEEE Std C57.91-2011 (Revision of IEEE Std C57.91-1995) - Redline, páginas 1–172, 2012.