

ESTUDO E INTEGRAÇÃO DE SENSORES *IoT* EM UMA PLANTA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE PROCESSOS UTILIZANDO TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

Thiago Adelino Martins da Silva¹, Fábio Romano Lofrano Dotto²
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP)
thiagoadelino@usp.br¹, fabio.dotto@usp.br²

1 Objetivos

Este artigo apresenta os resultados do projeto em desenvolvimento, que objetiva estudar, desenvolver e integrar sensores *IoT* (*Internet of Things*) em uma planta didática de controle de processos industriais, utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como o protocolo de comunicação *MQTT* (*Message Queuing Telemetry Transport*). A iniciativa visa criar um ambiente de ensino mais dinâmico e atualizado, capacitando os alunos a entender e aplicar conceitos avançados de automação industrial, protocolos de comunicação e análise de dados em tempo real. O projeto também objetiva o desenvolvimento de roteiros experimentais que permitam aos estudantes uma aprendizagem prática e contextualizada, preparando-os para os desafios tecnológicos contemporâneos.

2 Métodos e Procedimentos

A metodologia foi organizada em três fases principais:

- Configuração Inicial:** Esta etapa concentrou-se na configuração do ambiente de desenvolvimento. Englobou a instalação e configuração de um broker *MQTT* (Mosquitto) em uma TV Box com Debian, a criação inicial do *publisher* na ESP32 para medição de nível e a execução de testes de comunicação iniciais para confirmar o funcionamento do broker e do *publisher*.
- Ambiente de Testes com CLP Dedicado:** O objetivo desta fase intermediária foi validar a arquitetura sugerida em um ambiente controlado. Uma ESP32 foi empregada para coletar dados de sensores ultrassônicos, transmitindo essas informações ao mesmo tempo por

meio do *MQTT* (assinado pelo Node-RED) e TCP/IP para um CLP Siemens S7-1200 (lidos pelo supervisório SCADA Elipse E3).

- Integração com a Planta Didática:** A etapa final envolveu a transferência da arquitetura validada no ambiente de testes para o CLP real da planta didática. Para finalizar a integração dos sensores, do broker e dos sistemas supervisórios ao ambiente do laboratório, foram feitas alterações elétricas e de configuração.

3 Resultados

A comunicação *MQTT* foi validada com êxito na Configuração Inicial, com o broker Mosquitto e o *publisher* ESP32 funcionando como previsto.

Uma avaliação de latência da comunicação *MQTT* em rede local foi realizada. A latência média caiu de 250,81 ms para 197,04 ms, com desvio padrão reduzido de 228,65 ms para 76,79 ms, indicando entrega consistente. A Tabela 1 apresenta os resultados por intervalos de 100 mensagens.

Tabela 1: Latência do *MQTT* por 100 mensagens

Mensagens	Média (ms)	Desv. Padrão (ms)
1–100	250,81	228,65
101–200	214,63	165,35
201–300	205,74	135,52
301–400	203,49	118,40
401–500	205,54	107,74
501–600	202,05	98,67
601–700	199,07	91,64
701–800	197,88	85,81
801–900	197,29	80,92
901–1000	197,04	76,79

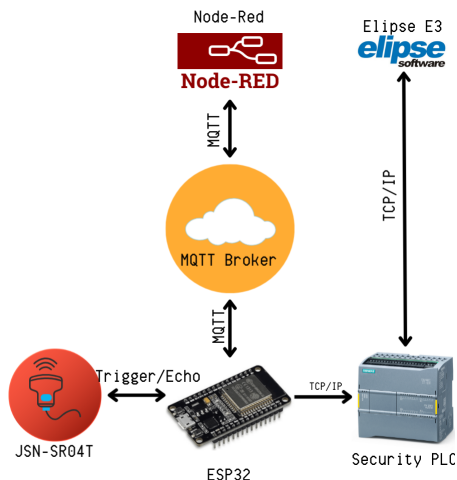
Limitações do Elipse E3 e a ausência de suporte

nativo a MQTT em CLPs Siemens S7-1200 levaram à adoção de uma arquitetura híbrida, que está ilustrada na Figura 1 na qual a ESP32, executando o *FreeRTOS*, envia dados de sensores ultrassônicos simultaneamente via TCP/IP ao CLP e via MQTT ao broker.

No Ambiente de Testes com CLP dedicado, obteve-se:

- MQTT foi validado com Node-RED atuando como subscriber, extraindo dados JSON da ESP32 e exibindo-os graficamente.
- Comunicação TCP/IP entre ESP32 e CLP foi estabelecida, com ESP32 enviando valores de sensores ultrassônicos (16 bits big-endian em pacotes de 4 bytes) e CLP utilizando o bloco TRCV_C para recebimento e mapeamento no TIA Portal.
- Dados TCP/IP recebidos pelo CLP foram lidos e supervisionados no ambiente de desenvolvimento do Elipse E3.

Figura 1: Arquitetura Híbrida



Fonte: Autor

Com a arquitetura validada e todos os dispositivos configurados na Integração com a Planta Didática foram feitas modificações elétricas, mecânicas e computacionais como:

- Configuração da Rede Interna do Laboratório;
- Instalação do Sensor Ultrassônico nas caixas d'água;
- Alteração de IPs, credenciais e portas de comunicação.

4 Conclusões

O projeto evidenciou a eficácia e a escalabilidade da incorporação de sensores IoT com protocolos atuais, como o MQTT, em uma planta didática para controle de processos industriais. Os resultados destacam a coleta e o monitoramento remoto em tempo real, aprimorando o ambiente de laboratório e proporcionando aos estudantes uma interação direta com as tecnologias da Indústria 4.0.

A utilização do Node-RED como assinante MQTT e a possibilidade de monitorar os dados do CLP por meio do Elipse E3 demonstram a versatilidade e a interoperabilidade do sistema. Os testes realizados mostram que o MQTT possibilita uma integração eficiente entre sensores e CLPs, criando oportunidades para futuras expansões do sistema.

Referências

- A. Manowska, A. Wycisk, A. Nowrot, and J. Pielot, "The use of the MQTT protocol in measurement, monitoring and control systems as part of the implementation of energy management systems," *Electronics*, vol. 12, no. 1, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9292/12/1/17>>
- P. Boonmeeruk, P. Palrat, and K. Wongsopanakul, "Cost-effective IIoT gateway development using ESP32 for industrial applications," *Engineering Journal*, vol. 28, no. 10, pp. 93–108, 2024. Disponível em: <<https://engj.org/index.php/ej/article/view/4584>>
- D. Hercog, T. Lerher, M. TruntiĆ, and O. Težak, "Design and implementation of ESP32-based IoT devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023, acessado em: 16 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/15/6739>>

Este projeto conta com o apoio do Programa Unificado de Bolsas (PUB-USP, Código do projeto: 1577), que viabilizou a sua execução. Agradecemos, ainda, à Escola de Engenharia de São Carlos pela infraestrutura.

Responsabilidade pelas informações: Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho