

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CAMPUS ITUMBIARA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**



Guilherme Rezende Pereira Camargo

**INTEROPERABILIDADE ENTRE CONTROLADORES INDUSTRIAIS, SISTEMA DE
MONITORAMENTO *WEB* E ARMAZENAMENTO DE DADOS**

ITUMBIARA/GO

2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Guilherme Rezende Pereira Camargo

Matrícula: 20201040100103

Título do Trabalho: INTEROPERABILIDADE ENTRE CONTROLADORES INDUSTRIAIS, SISTEMA DE MONITORAMENTO WEB E ARMAZENAMENTO DE DADOS

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.



Documento assinado digitalmente
GUILHERME REZENDE PEREIRA CAMARGO
Data: 10/03/2025 00:31:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Itumbiara, 10/03/2025.

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Guilherme Rezende Pereira Camargo

**INTEROPERABILIDADE ENTRE CONTROLADORES INDUSTRIAIS, SISTEMA DE
MONITORAMENTO *WEB* E ARMAZENAMENTO DE DADOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca avaliadora, parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara.

Orientador: Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente

ITUMBIARA/GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C173 Camargo, Guilherme Rezende Pereira
Interoperabilidade entre controladores industriais, sistema de monitoramento web e armazenamento de dados. / Guilherme Rezende Pereira Camargo. -- Itumbiara, 2025.
101 p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente.

1.Controle de processo 2. Computação em nuvem.
3.Armazenamento. I. Título. II. Camargo, Guilherme Rezende Pereira IV. Vicente, Bruno Gabriel Gustavo Leonardo. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
CDD 629.8

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecário: Marla de Souza Correia CRB-1/3011

GUILHERME REZENDE PEREIRA CAMARGO

**INTEROPERABILIDADE ENTRE CONTROLADORES INDUSTRIAIS, SISTEMA DE MONITORAMENTO WEB E
ARMAZENAMENTO DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação
do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus
Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em 28 de Fevereiro de 2025.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Orientador

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Jucélio Costa de Araújo
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

Documento assinado eletronicamente por:

- Jucelio Costa de Araujo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/03/2025 13:56:16.
- Victor Regis Bernardeli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/03/2025 07:25:45.
- Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 15:23:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 623512

Código de Autenticação: dbd4498b65



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, None, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5622 (ramal: 5622)

AGRADECIMENTOS

Minha primeira e mais profunda gratidão é a Deus, fonte de toda sabedoria e força, que me guiou e sustentou em cada etapa desta jornada.

Aos meus pais, meu mais sincero e eterno reconhecimento. Vocês foram meu alicerce, minha inspiração e meu porto seguro. Mesmo diante das adversidades, nunca deixaram de acreditar em mim, oferecendo apoio incondicional e incentivando-me a seguir em frente.

Ao Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara, minha imensa gratidão por ter sido a instituição que me acolheu e proporcionou a base para o meu crescimento acadêmico e profissional. Foi aqui que encontrei não apenas conhecimento, mas também oportunidades, desafios e um ambiente que me permitiu desenvolver habilidades que levarei para a vida toda. Obrigado por fazer parte da minha história e por contribuir para a realização deste sonho.

Aos professores, técnicos e funcionários que tornaram esta jornada grandiosa, meu mais profundo agradecimento. A cada um de vocês, que dedicaram tempo, paciência e expertise para nos ensinar, orientar e apoiar, meu reconhecimento por todo o empenho e comprometimento. Em especial, ao meu orientador, Dr. Bruno Zambolini Vicente, por compartilhar seu conhecimento com excelência e por conduzir seu trabalho com tanta dedicação. Foi uma honra ser seu aluno e aprender com um profissional tão inspirador. Agradeço também aos professores Dr. Victor Régis Bernardelli e Dr. Jucélio Costa de Araújo, não apenas por aceitarem avaliar este trabalho, mas por todo o conhecimento valioso que transmitiram ao longo da graduação.

Aos colegas de turma, que se tornaram amigos e futuros companheiros de profissão, obrigado por fazerem parte desta caminhada. Os momentos que compartilhamos, as risadas, os debates, as longas horas de estudo e os projetos em equipe ficarão guardados em minha memória como parte fundamental desta experiência. Vocês tornaram esta jornada ainda mais especial.

Aos amigos que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores, meu muito obrigado. Suas palavras de apoio e incentivo foram como um farol nos dias mais difíceis, e sou imensamente grato por cada um de vocês.

Por fim, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui, seja na faculdade, nas experiências vividas na indústria ou em outros momentos da vida, meu eterno agradecimento. Que cada um de vocês receba em dobro todo o bem que me proporcionou. Esta conquista não é apenas minha, mas de todos que fizeram parte desta trajetória. Que possamos seguir inspirando e construindo um futuro ainda mais promissor!

*“O ontem é história, o
amanhã é um mistério, mas o
hoje é uma dádiva. É por isso
que se chama presente”*

- Mestre Oogway

RESUMO

Este trabalho de automação industrial tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle de nível de líquidos, utilizando programação em Ladder no TIA Portal e simulação do processo no Factory I/O. Além disso, o projeto integra a comunicação via OPC UA, permitindo a supervisão dos dados em tempo real e o armazenamento de informações para análise posterior. A programação em Ladder, uma das linguagens mais utilizadas na automação industrial, é a base para a implementação da lógica de controle no TIA Portal. Após a programação do PLC, o próximo passo consiste na simulação do sistema no Factory I/O, onde são modelados tanques, sensores e atuadores que interagem conforme a lógica definida. Para garantir a comunicação eficiente entre o processo simulado e o sistema supervisão, foi utilizado o protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*). Nesse contexto, o OPC UA atua como intermediário, transmitindo os dados do controle implementado no TIA Portal para um ambiente de monitoramento desenvolvido no Node-RED. Essa comunicação possibilita que o PLC envie informações precisas sobre o nível do líquido e o estado dos atuadores, permitindo a tomada de decisões com base nos dados adquiridos. Com a integração e a comunicação estabelecidas, a última fase do projeto envolve o desenvolvimento de um *dashboard* para visualização e análise dos dados. O Node-RED é utilizado para o processamento dos dados adquiridos, que são então armazenados no InfluxDB, garantindo a persistência dos registros para análise histórica. Para a visualização e monitoramento desses dados, utiliza-se o Grafana, permitindo a criação de painéis interativos e a análise detalhada do comportamento do sistema ao longo do tempo. Em conclusão, este trabalho demonstra a viabilidade e a eficiência de uma abordagem integrada para controle, monitoramento e armazenamento de dados. A união da programação em Ladder no TIA Portal, simulação no Factory I/O, comunicação via OPC UA, processamento no Node-RED, armazenamento no InfluxDB e visualização no Grafana evidencia a importância da interoperabilidade entre diferentes tecnologias na automação industrial.

Palavras chave: Controle de processos, Computação em Nuvem, Armazenamento, Monitoramento *Online*.

ABSTRACT

This industrial automation project aims to develop a liquid level control system using Ladder programming in TIA Portal and process simulation in Factory I/O. Additionally, the project integrates communication via OPC UA, enabling real-time data supervision and information storage for further analysis. Ladder programming, one of the most widely used languages in industrial automation, serves as the foundation for implementing the control logic in TIA Portal. After programming the PLC, the next step is to simulate the system in Factory I/O, where tanks, sensors, and actuators are modeled to interact according to the defined logic. To ensure efficient communication between the simulated process and the supervisory system, the OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) protocol was used. In this context, OPC UA acts as an intermediary, transmitting control data from TIA Portal to a monitoring environment developed in Node-RED. This communication allows the PLC to send accurate information regarding the liquid level and actuator status, enabling decision-making based on the acquired data. With integration and communication established, the final phase of the project involves developing a dashboard for data visualization and analysis. Node-RED is used for processing the acquired data, which is then stored in InfluxDB, ensuring record persistence for historical analysis. For data visualization and monitoring, Grafana is employed, allowing the creation of interactive dashboards and a detailed analysis of system behavior over time. In conclusion, this project demonstrates the feasibility and efficiency of an integrated approach to control, monitoring, and data storage. The combination of Ladder programming in TIA Portal, simulation in Factory I/O, communication via OPC UA, processing in Node-RED, storage in InfluxDB, and visualization in Grafana highlights the importance of interoperability between different technologies in industrial automation.

Keywords: Process control, *Cloud* Computing, Storage, *Online* Monitoring.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Endereçamento IP.....	47
Tabela 2 - Aquisição de Dados – Registro de Amostras Temporais.	91

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de controle.	20
Figura 2 - CLP Siemens	21
Figura 3 - Fluxo Básico de Sistema de Controle.	22
Figura 4 - Evolução das Revoluções Industriais.....	26
Figura 5 - Tecnologias presentes na indústria 4.0.....	28
Figura 6 - <i>Software</i> de simulação Factory I/O.	29
Figura 7 - <i>Software</i> TIA Portal.....	33
Figura 8 - <i>Software</i> <i>PLCSIM Advanced</i>	34
Figura 9 - <i>Software</i> Factory I/O.	35
Figura 10 - Modelo Funcional ISA-95 para a Indústria Manufatureira.	37
Figura 11 - Visão para a evolução da tecnologia de Manufatura: do ISA-95 à Indústria 4.0	38
Figura 12 - Inicialização do serviço do Node Red.	39
Figura 13 - Exemplo de fluxo desenvolvido em Node Red.....	40
Figura 14 - InfluxDB exemplo - Monitoramento de Temperatura.....	41
Figura 15 - Fontes de dados para o Grafana <i>Cloud</i>	42
Figura 16 - Exemplo ilustrativo de painel no Grafana.....	43
Figura 17 - Arquitetura do Serviço Local.	45
Figura 18 - Arquitetura do Serviço <i>Online</i>	46
Figura 19 - Configuração de Módulos de CLP no <i>Software</i> TIA Portal.	49
Figura 20 - Configuração de Protocolo IP no TIA Portal para Comunicação em Rede Industrial.....	50
Figura 21 - Normalização e Escalonamento de Variáveis para Controle de Nível. ...	51
Figura 22 - Bloco PID.	52
Figura 23 - Configurações do bloco de PID.....	54
Figura 24 - Protocolo de comunicação TCP/IP.	55
Figura 25 – Configuração de conexão da simulação com o CLP.....	56
Figura 26 - Cena Level Control no factory I/O.....	56
Figura 27 - Controle de Nível no Factory IO.....	57
Figura 28 - Definição do CLP no Factory IO.....	58
Figura 29 - Configuração de Comunicação entre Factory I/O e CLP Siemens S7-1500.	59

Figura 30 - Mapeamento de Entradas e Saídas no <i>Software</i> Factory I/O para Controle de Processos Industriais.	60
Figura 31 - Data Block de variáveis.....	60
Figura 32 - Variáveis exportadas para o Node-Red.	61
Figura 33 - Servidor OPC UA no CLP.	62
Figura 34 - <i>Software</i> UAExpert.....	63
Figura 35 - Dados disponibilizados pelo CLP.....	63
Figura 36 - NodeID da variável Nível_norm.	64
Figura 37 - Inicialização do Servidor Node-Red.	66
Figura 38 - Fluxo de Integração de Dados com Node-RED e OPC UA.	67
Figura 39 - Configuração do Nó OPC UA no Node-RED.	69
Figura 40 - Exemplo de resultados de consulta do InfluxDB.....	71
Figura 41 – Gestão de baldes no InfluxDB.....	72
Figura 42 - Configuração Geral do Nó de Saída (InfluxDB Out).....	73
Figura 43 - Configuração do Servidor no Nó de Saída.....	74
Figura 44 - Exploração de Dados no InfluxDB.	75
Figura 45 – Campos e Tags no InfluxDB.	75
Figura 46 – Evolução temporal de dados no InfluxDB.	76
Figura 47 - Adição de fonte de dados do Grafana.....	78
Figura 48 - Configuração HTTP no Grafana.....	79
Figura 49 - Parâmetros de configuração ao Banco de Dados.....	80
Figura 50 - Painel de Monitoramento de Nível no Grafana.	82
Figura 51 - Fluxo de Dados no Node-RED.....	83
Figura 52 - Saída do Debug no Node-RED.....	84
Figura 53 - Monitoramento MQTT no MQTTX.....	85
Figura 54 - Serial Monitor do ESP32.....	86
Figura 55 - Lógica Ladder.	87
Figura 56 - Velocidade de transferência do CLP para o Node Red.....	90

LISTA DE SIGLAS

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*)

ISA – Sociedade Internacional de Automação (*International Society of Automation*)
ISO – Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization*)

LISTA DE ABREVIATURAS

AI – Analógica de Entrada (*Analog input*)
API – Interface de Programação de Aplicação (*Application Programming Interface*)
CLP – Controlador Lógico Programável
CPS – Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems*)
DI – Digital de Entrada (*Digital Input*)
DQ – Digital de Saída (*Digital Output*)
HMI – Interface Homem-Máquina
IHM – Interface Homem-Máquina
IoT – Internet das Coisas (*Internet of Things*)
MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport*
OPC UA – *Open Platform Communications Unified Architecture*
PID – Proporcional, Integral e Derivativo
PLC – Controlador Lógico Programável (*Programmable Logic Controller*)
PLCSIM – *PLC Simulator*
RTU – *Unidade Terminal Remota (Remote Terminal Unit)*
SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*
TCP/IP – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
TIA Portal – *Totally Integrated Automation Portal*
TI – Tecnologia da Informação (*Technology Information*)
VDC – Volts de Corrente Contínua (*Volts Direct Current*)
HTTP – Protocolo de Transferência de Hipertexto (*Hypertext Transfer Protocol*)
SQL – (*Structured Query Language*)

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
2. CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	18
2.1.1 PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	18
2.1.2 SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	18
2.1.3 TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	19
2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	20
2.3 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	22
2.3.1 SISTEMA DE SUPERVISÃO.....	23
2.4 REDES INDUSTRIAIS	24
2.4.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPC UA.....	24
2.4.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MQTT	25
2.4.1 INTEGRAÇÃO ENTRE OPC UA E MQTT.....	25
2.5 INDÚSTRIA 4.0.....	26
2.6 SIMULAÇÃO DE PROCESSO FÍSICO	28
2.7 ARMAZENAMENTO <i>ONLINE</i>	30
2.7.1 ARMAZENAMENTO OFFLINE.....	31
2.8 MONITORAMENTO <i>ONLINE</i>	31
3. CAPÍTULO III - COMPOSIÇÃO TÉCNICA.....	32
3.1 TIA PORTAL	32
3.2 <i>PLCSIM ADVANCED</i>	33
3.3 FACTORY IO	34
3.4 OPC UA	36
3.5 NODE RED	39
3.6 INFLUXDB	40
3.7 GRAFANA.....	42
4. CAPÍTULO IV - MATERIAIS E MÉTODOS.....	43

4.1	ESTUDO DAS FERRAMENTAS	47
4.2	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO NO TIA PORTAL	48
4.3	SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE NÍVEL NO FACTORY IO	54
4.4	SERVIDOR OPC UA APLICADO AO CLP	60
4.5	INTEGRAÇÃO DE CLP COM O NODE – RED	65
4.6	ARMAZENAMENTO EM NUVEM COM INFLUXDB	69
4.7	DESENVOLVIMENTO DO SUPERVISÓRIO <i>ONLINE</i>	77
4.8	INTEGRAÇÃO ENTRE CONTROLADOR E MICROCONTROLADOR	82
5.	CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
5.1	AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO ENTRE OPC UA E MQTT	88
5.2	VELOCIDADE E LATÊNCIA NA TRANSMISSÃO DE DADOS	89
5.3	ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO	93
5.4	FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO E USO	95
6.	CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO	97

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Este trabalho de automação industrial tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de controle de nível de líquidos, integrando tecnologias adotadas no contexto da Indústria 4.0. A solução proposta combina a programação em ladder no TIA Portal, a simulação de processos no Factory I/O, a comunicação via protocolo OPC UA, o armazenamento de dados no InfluxDB e a visualização em tempo real no Grafana. Além disso, o Node-RED atua como intermediário entre o processo de automação e a camada de TI, facilitando a integração e a comunicação entre os sistemas. O trabalho é demonstrar a viabilidade técnica dessa abordagem, mas também avaliar os aspectos positivos e negativos, a disponibilidade, os custos e a escalabilidade da implementação dessas tecnologias em um ambiente industrial real.

A programação em ladder, uma linguagem gráfica amplamente utilizada na automação industrial, serve como base para a implementação da lógica de controle no TIA Portal. Essa linguagem é escolhida por sua simplicidade e eficiência, especialmente em aplicações de controle de processos, como o gerenciamento de níveis de líquidos. Após a criação da lógica de controle, é necessário integrá-la a uma simulação realista no Factory I/O, onde tanques, sensores e atuadores são modelados para interagir com o controlador lógico programável (CLP). Essa integração proporciona um ambiente seguro e controlado para testar e ajustar a lógica de controle, eliminando a necessidade de um sistema físico e reduzindo custos e riscos associados a testes em equipamentos reais. (RAUFFMANN, 2021).

Para garantir uma comunicação eficiente e segura entre o sistema de controle e a camada de TI, o protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) é empregado. Reconhecido por sua capacidade de integrar sistemas heterogêneos em ambientes industriais, o OPC UA atua como intermediário, transmitindo dados do TIA Portal para o Node-RED. O Node-RED, por sua vez, funciona como uma ponte entre o processo de automação e as ferramentas de TI, encaminhando os dados para o InfluxDB, um banco de dados otimizado para séries temporais, onde as informações são armazenadas de forma estruturada e eficiente.

A visualização em tempo real dos dados é realizada no Grafana, uma plataforma de análise e monitoramento que permite a criação de *dashboards* altamente personalizáveis e interativos. O Grafana se conecta ao InfluxDB para

requisitar os dados armazenados, proporcionando uma visão clara e detalhada do processo industrial, incluindo níveis de líquido, status de atuadores e outras métricas relevantes. Essa integração permite o monitoramento contínuo e a análise histórica dos dados, facilitando a identificação de tendências, anomalias e oportunidades de otimização. (BALDISSARELLI; FABRO, 2019).

Além de demonstrar a integração dessas tecnologias, este trabalho tem como foco avaliar os aspectos práticos de sua implementação. Isso inclui a análise dos custos associados à aquisição e configuração das ferramentas, a disponibilidade dessas tecnologias no mercado, a escalabilidade da solução para diferentes cenários industriais e os benefícios em termos de eficiência operacional, redução de custos e melhoria na tomada de decisões.

1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar uma solução integrada e inteligente para a automação industrial, utilizando as ferramentas TIA Portal, Factory I/O, OPC UA, Node-RED, InfluxDB e Grafana no contexto da Indústria 4.0. A solução visa permitir a simulação, o controle, o monitoramento e a otimização de processos de produção em um ambiente digital interconectado e seguro, com foco no controle de nível de líquidos. Além disso, o trabalho busca analisar os aspectos positivos e negativos, a disponibilidade, os custos e a escalabilidade da implementação dessas tecnologias em um ambiente industrial real.

- Implementar a lógica de controle de nível de líquidos utilizando programação em ladder no TIA Portal.
- Configurar o *PLCSIM Advanced* V3.0 da Siemens para emular o funcionamento de um CLP da CPU S7-1516-3 PN, permitindo a simulação do controlador em um ambiente virtual.
- Integrar o TIA Portal com o Factory I/O para criar uma simulação realista do processo industrial, incluindo tanques, sensores e atuadores, que interajam com o CLP programado.
- Configurar a comunicação via protocolo OPC UA entre o TIA Portal e o Node-RED, garantindo a transmissão segura e eficiente dos dados do sistema de controle para a camada de TI.
- Utilizar o Node-RED como intermediário entre o processo de automação e as ferramentas de TI, encaminhando os dados para o InfluxDB, um banco de dados otimizado para séries temporais, onde as informações serão armazenadas de forma estruturada.
- Configurar o Grafana para visualização em tempo real dos dados armazenados no InfluxDB, criando *dashboards* personalizáveis e interativos que permitam o monitoramento contínuo e a análise histórica do processo industrial.

2. CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

2.1.1 PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Antes do surgimento da indústria, a produção era totalmente manual, o que limitava a quantidade de bens produzidos, tornando inviável atender a uma população em constante crescimento. Além disso, a necessidade de aumentar a velocidade e o volume de produção estava diretamente ligada ao capitalismo, cujo principal objetivo era a maximização dos lucros. (CAVALCANTE; SILVA, 2011).

A primeira revolução ocorreu no final do século XVIII, com início na Inglaterra, caracterizada pela mecanização em substituição ao trabalho artesanal e pela utilização da força da água e do vapor. A mecanização trouxe para a produção a possibilidade de se utilizar máquinas para produzir, o que resultou em um ganho de produtividade e reduziu a necessidade de se ter pessoas altamente qualificadas para realizar algum trabalho.

Durante esta época, as principais tecnologias que caracterizaram os processos produtivos incluíam a mecanização e utilização da força da água e do vapor como força motriz. Tinha-se o operador trabalhando em contato com o processo físico.

2.1.2 SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A segunda revolução industrial ocorreu no final do século XIX e é caracterizada por melhorias nos processos de gestão e organização da produção, como as modificações na linha de montagem e a aplicação da produção em massa. Também foi marcada pelo uso de novas tecnologias, como a eletricidade e o motor de combustão interna. Apesar dessas mudanças o operador ainda se mantinha em contato direto com o sistema físico, interagindo manualmente com o processo produtivo.

Neste período, o enfoque de inovações tecnológicas assumiu novas características. Nesse período foi descoberta a eletricidade, a transformação do ferro em aço, o surgimento e modernização dos meios de transporte, o avanço dos meios e comunicação, o desenvolvimento da indústria química e de outros setores. Essa

revolução industrial teve destaque ela busca de maiores lucros; especialização do trabalho; ampliação da produção. (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

2.1.3 TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Terceira Revolução Industrial, datada a partir de 1969, tem como marco inicial o lançamento do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP), um dispositivo que revolucionou a automação industrial ao introduzir a programação em *software* no controle de processos produtivos. Esse avanço representou uma mudança significativa em relação aos sistemas anteriores, que dependiam de estruturas estáticas e inflexíveis para a automação. Antes do CLP, qualquer alteração no processo produtivo exigia modificações físicas no maquinário, o que limitava a flexibilidade e aumentava os custos e o tempo de adaptação.

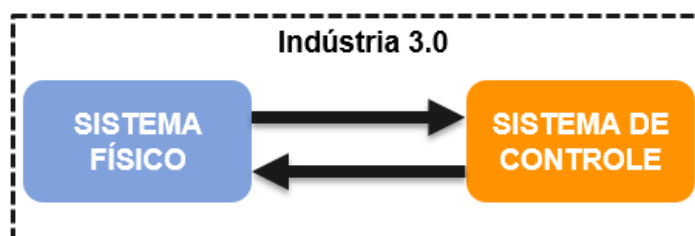
O desenvolvimento do CLP surgiu como uma resposta a essa limitação, trazendo consigo conceitos de programação e computação para o ambiente industrial. Com isso, as mudanças nos processos passaram a ser realizadas por meio de *software*, eliminando a necessidade de intervenções físicas no *hardware*. Essa inovação não apenas aumentou a flexibilidade dos sistemas produtivos, mas também permitiu maior precisão e eficiência no controle dos processos. (BRAGA, 2025).

A Terceira Revolução Industrial também foi marcada pela crescente adoção de computadores e tecnologias digitais na automação industrial. Um dos principais avanços foi a introdução de robôs industriais, que combinam mecânica de precisão com sistemas de controle digital. Esses robôs passaram a desempenhar tarefas complexas e repetitivas com alta eficiência, reduzindo a dependência da mão de obra humana em atividades de alto risco ou que exigem grande precisão.

Com essas transformações, o papel do operador industrial também evoluiu. Antes responsável pelo controle manual e físico dos processos, o operador passou a interagir com sistemas de controle digital, assumindo funções mais estratégicas, como monitoramento, supervisão e tomada de decisões com base em dados. Essa mudança não apenas aumentou a eficiência dos processos produtivos, mas também elevou o nível de segurança e a qualidade dos produtos.

Desta maneira, o operador deixa de trabalhar realizando o controle físico manual do processo físico e passaram a interagir com o sistema de controle, conforme é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema de controle.



Fonte: Autoria própria.

Frente a essa intensa modernização, mudança social, cultural e econômica, assim como tem feito ao longo dos anos, o homem continuou investindo em desenvolvimento tecnológico e assim nasce a Indústria 4.0.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

A sigla CLP significa Controlador Lógico Programável, ou do inglês, PLC - *Programmable Logic Controller*, sendo definido como um sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógicas, sequencial, temporização e contagem aritmética, para controlar, através de entradas e saídas, digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos.

A Figura 2 apresenta uma linha de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) da Siemens, destacando diferentes modelos.

Figura 2 - CLP Siemens



Fonte: Adaptado de Siemens (2024).

O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas as funções previstas. (AZEVEDO, 2018).

O Controlador Lógico Programável (CLP) é o principal dispositivo responsável pelo controle de processos industriais, atuando como o "cérebro" da automação. Assim como o sistema nervoso humano recebe estímulos dos órgãos sensoriais, processa as informações e envia comandos aos órgãos motores, o CLP recebe sinais de sensores – como detectores de presença ou sensores de cor, processa esses dados e aciona dispositivos atuadores, como motores elétricos e lâmpadas, para executar as ações necessárias no processo produtivo.

Sua estrutura é composta por três elementos fundamentais: entradas, saídas e unidade de processamento. As entradas são representadas por sensores e chaves que monitoram variáveis do sistema. A unidade de processamento interpreta essas informações com base em um programa pré-definido e, por fim, as saídas acionam atuadores, como bombas, válvulas e motores, para interagir com o ambiente e controlar o processo conforme especificado.

A complexidade de um sistema de controle determina os componentes necessários para sua implementação. Por exemplo, um sistema destinado à contagem de latas em uma linha de produção de refrigerantes possui requisitos muito diferentes daqueles empregados no controle de uma planta nuclear. Dependendo da demanda, a escolha do CLP deve considerar fatores como capacidade de processamento, número de entradas e saídas, protocolos de comunicação suportados e compatibilidade com outros dispositivos no ambiente industrial. Dessa forma, a

correta especificação do controlador e sua integração com os demais elementos garantem um sistema eficiente, seguro e confiável. (BRAGA, 2025).

Conforme ilustrado na Figura 3, esses sistemas de controle podem ser divididos em três partes principais: os Sensores, os Controladores e os Atuadores.

Figura 3 - Fluxo Básico de Sistema de Controle.



Fonte: Autoria

2.3 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A evolução da automação industrial remete há longos períodos de tempo na história. Desde a pré-história o homem vem desenvolvendo mecanismos e invenções com o intuito de reduzir o esforço físico e auxiliar na realização de atividades. Como exemplo, podem-se citar a roda para movimentação de cargas e os moinhos movidos por vento ou força animal.

Entretanto, a automação industrial começou a conquistar destaque na sociedade no século XVIII, com o início da Revolução Industrial, originada na Inglaterra. Devido a uma evolução no modo de produção, o homem passou a produzir mercadorias em maior escala.

No século XX, computadores, servomecanismos e controladores programáveis passaram a fazer parte da automação (LEANDRO, 2016).

Uma boa definição para automação é um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticas a realização de tarefas, substituindo o gasto de bioenergia humana, com esforço muscular e mental, por elementos eletromecânicos computáveis. Percebe-se, portanto, que este amplo conceito se estende a diversos cenários, como, por exemplo, a máquina de lavar roupa para a lavadeira, a xerox para o escrívão, ou o robô para o operário industrial. Os benefícios para qualquer processo automação são nítidos: eficiência, segurança, menor custo, maior produção. (SILVEIRA, 2003).

Algumas tecnologias que se destacam nos processos de automação de máquinas ou processos industriais são os controladores lógicos programáveis (CLP), interface homem máquina (IHM), computadores industriais, inversores de frequência, robôs e os comandos numéricos computadorizados (CNC). Um sistema básico de automação de uma máquina ou planta, comumente é composto por um CLP ou um computador industrial, entradas e saídas, sensores, atuadores e outros (ANDRADE, 2013).

2.3.1 SISTEMA DE SUPERVISÃO

A Indústria 4.0 detém de uma grande quantidade de dados sendo coletados para o monitoramento dos equipamentos e dos processos. Esses dados precisam ser apresentados para o operador e para os responsáveis pelos processos.

Além disso, com a automatização da geração de relatórios e apresentação mais intuitiva, os sistemas supervisórios em conjunto com os CLPs, aproximam os processos industriais dos processos de gerência, pois a gerência pode ter acesso às informações de forma rápida e com fácil compreensão.

A segurança dos sistemas supervisórios, principalmente dos sistemas SCADA, têm sido uma grande preocupação nas últimas décadas, especialmente por ser um dos pontos, na indústria, mais atacados pelos *hackers*. Uma das razões para que isso aconteça é a forma como esses sistemas são desenvolvidos. As equipes que desenvolvem esses sistemas são normalmente pessoas da área de automação, que muitas vezes não possuem um conhecimento mais profundo dos princípios de segurança. (SILVA SOTOLANI, 2024).

Por outro lado, o time de TI, que têm um conhecimento mais profundo sobre a segurança, não têm familiaridade com as tecnologias industriais. Sendo assim, se essas duas equipes não trabalham em conjunto os sistemas vão ser prejudicados no quesito segurança.

O monitoramento feito nos equipamentos industriais tem como objetivo principal, o funcionamento e o desempenho desses equipamentos, não a segurança deles. (SILVA SOTOLANI, 2024). Com esse monitoramento, você consegue identificar se algum processo não está funcionando como deveria, mas não dá para saber se o problema é uma falha técnica ou se é um *hacker* tentando invadir o sistema.

2.4 REDES INDUSTRIAIS

2.4.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPC UA

O OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) é um protocolo amplamente adotado na automação industrial, projetado para facilitar a troca segura, padronizada e eficiente de informações entre dispositivos, sistemas de controle e aplicações de supervisão. Desenvolvido como uma evolução do OPC Clássico, o OPC UA incorpora funcionalidades avançadas que atendem às demandas da Indústria 4.0, como maior flexibilidade, segurança robusta e interoperabilidade entre sistemas heterogêneos. Segundo Braga (2023), o OPC UA se destaca por sua capacidade de integrar diferentes plataformas e dispositivos, garantindo a comunicação confiável e em tempo real necessária para operações industriais modernas.

Além de transmitir valores de sensores, o OPC UA pode incluir informações detalhadas sobre a origem dos dados, unidades de medida, status de operação e histórico de eventos.

O protocolo opera com base no modelo cliente-servidor, que define claramente os papéis dos dispositivos envolvidos na comunicação:

Servidor OPC UA: Atua como a fonte de dados, disponibilizando informações provenientes de sensores, dispositivos ou sistemas de automação, como CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). O servidor organiza os dados em uma estrutura hierárquica, permitindo que os clientes acessem informações específicas de forma eficiente.

Cliente OPC UA: Consome os dados fornecidos pelo servidor, realizando operações como leitura, escrita ou assinatura para receber atualizações em tempo real. O cliente pode ser uma aplicação de supervisão, um sistema de análise de dados ou uma plataforma de visualização, como o Node-RED ou o Grafana.

A segurança é outro pilar fundamental do OPC UA. O protocolo incorpora mecanismos avançados de criptografia, autenticação e controle de acesso, garantindo que a comunicação entre dispositivos e sistemas seja protegida contra ameaças

externas. Essa característica é especialmente relevante em ambientes industriais, onde a integridade e a confidencialidade dos dados são críticas.

2.4.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MQTT

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo leve e eficiente, amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) e sistemas distribuídos. Foi projetado para operar de maneira otimizada em redes com baixa largura de banda ou alta latência, garantindo comunicação ágil e confiável.

O MQTT adota o modelo *publish/subscribe* (publicação/assinatura), que funciona da seguinte forma:

- Publicadores enviam mensagens associadas a tópicos específicos.
- Assinantes recebem mensagens desses tópicos quando inscritos neles.
- O broker MQTT atua como intermediário, garantindo a entrega das mensagens entre publicadores e assinantes.

No contexto deste projeto, o MQTT foi empregado para disseminar os dados processados para plataformas de monitoramento e outros dispositivos conectados. Após o Node-RED receber os dados do CLP via OPC UA, esses dados foram publicados em tópicos MQTT, como *tanque/nivel* e *setpoint/valor*. Esses tópicos podem ser consumidos por ferramentas como o Grafana para visualização em *dashboards*, além de serem acessíveis por aplicativos móveis ou outros sistemas remotos.

2.4.1 INTEGRAÇÃO ENTRE OPC UA E MQTT

A combinação dos protocolos OPC UA e MQTT neste projeto foi estratégica. O OPC UA foi utilizado para coletar dados de dispositivos industriais de maneira segura e padronizada, enquanto o MQTT possibilitou a distribuição eficiente dessas informações para diferentes consumidores, dentro e fora do ambiente industrial. Juntos, esses protocolos criaram uma solução robusta que atende às exigências de

integração industrial e de aplicações IoT, garantindo confiabilidade, escalabilidade e flexibilidade para o sistema.

2.5 INDÚSTRIA 4.0

A Figura 4 apresenta uma linha do tempo que descreve as principais fases da evolução industrial, culminando na Indústria 4.0. A imagem está dividida em quatro etapas principais, cada uma representando um marco significativo no desenvolvimento industrial.

Figura 4 - Evolução das Revoluções Industriais.



Fonte: Adaptado de Automata (2025).

A digitalização das fábricas é um dos pilares da Indústria 4.0, também conhecida como a quarta revolução industrial. Esse processo consiste no uso de tecnologias digitais para automatizar e otimizar os sistemas de produção, tornando as fábricas mais produtivas e competitivas.

De maneira geral, a Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração de tecnologias avançadas, como automação, inteligência artificial e internet das coisas (IoT), aplicadas aos processos industriais. A digitalização dentro desse contexto envolve a incorporação dessas inovações em todas as fases da produção, desde a concepção do produto até sua entrega ao consumidor.

A relevância da digitalização na Indústria 4.0 é notável, pois traz diversos benefícios para as empresas. Entre eles, destacam-se o aumento da eficiência e da

flexibilidade produtiva, reduzindo o tempo de resposta entre o pedido do cliente e a entrega final. Além disso, a digitalização contribui para a diminuição de custos, minimização de erros, melhor aproveitamento de recursos e aprimoramento da qualidade dos produtos. (SALES, 2023).

A conectividade é um dos pilares fundamentais dessa revolução, destacando-se pela automatização e pela interconexão dos processos. Nesse contexto, os sistemas e dispositivos estão interligados, criando redes inteligentes que conectam máquinas, usuários e a internet. Essa conexão proporciona um fluxo contínuo de dados, facilitando a troca de informações em tempo real e garantindo maior eficiência e precisão nas operações.

As Tecnologias de Informação e Comunicação, por sua vez, complementam a conectividade ao possibilitar a disponibilização e integração de dados entre os processos produtivos e a gestão das empresas. Com essas tecnologias, informações geradas pelos sistemas são acessadas e analisadas remotamente, permitindo aos operadores e gestores tomar decisões embasadas em dados atualizados. Essa integração contribui significativamente para a agilidade na tomada de decisões e para o monitoramento em tempo real dos processos, otimizando os recursos e reduzindo custos operacionais.

Outro elemento central da Indústria 4.0 são os Sistemas Ciber-físicos (CPS), esses sistemas consistem na fusão entre o mundo físico e o digital, criando um ambiente onde *softwares* estão profundamente integrados aos processos físicos. São caracterizados pela capacidade de computação, controle e comunicação, englobando sistemas embarcados em equipamentos, produtos inteligentes com capacidade de comunicação e componentes de *software* em nuvem. Essa integração possibilita a automação avançada e a flexibilidade dos processos produtivos, ao mesmo tempo em que amplia a capacidade de resposta e adaptação a mudanças no ambiente de fabricação.

Outra classificação é apresentada como as tecnologias habilitadoras, conforme ilustra na Figura 5. Elas recebem esse nome porque entende-se que a sua aplicação no contexto industrial é o que permite o surgimento da Indústria 4.0.

Figura 5 - Tecnologias presentes na indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Altus (2025).

As tecnologias associadas à Indústria 4.0 permitem a coleta e o processamento de grandes volumes de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões ágeis e precisas. Além disso, a interconexão entre máquinas e sistemas possibilita uma comunicação instantânea e aprimora a colaboração entre diferentes etapas da cadeia produtiva.

2.6 SIMULAÇÃO DE PROCESSO FÍSICO

Após a implementação da linguagem do CLP, é essencial realizar a verificação do código lógico desenvolvido. Esse processo, conhecido como comissionamento, pode ser executado virtualmente por meio de ferramentas de simulação de plantas industriais em 3D. Entre os *softwares* utilizados para essa finalidade, destacam-se o Plant Simulation, da Siemens, o Arena Simulation, da Rockwell Automation, e o Factory I/O, da Real Games. (RAUFFMANN, 2021).

Na Figura 6 apresenta a integração entre automação industrial e simulação digital.

Figura 6 - *Software* de simulação Factory I/O.



Fonte: Adaptado de Real Games (2024).

A simulação de processos físicos desempenha um papel fundamental na Indústria 4.0, permitindo que sistemas complexos sejam modelados e testados virtualmente antes de sua implementação real. Ferramentas como o Factory I/O oferecem um ambiente interativo onde sensores, atuadores e processos industriais podem ser replicados com alta fidelidade. Essa prática não apenas reduz custos associados à prototipagem e testes físicos, mas também possibilita a análise de cenários e o ajuste de parâmetros sem a necessidade de interrupções no ambiente produtivo.

Além disso, a simulação é uma ferramenta valiosa para capacitação de profissionais, permitindo que operadores e engenheiros sejam treinados em um ambiente seguro e controlado. Ao integrar a simulação com controladores lógicos programáveis (CLPs) e sistemas de supervisão, é possível testar e otimizar lógicas de controle em tempo real, aumentando a confiabilidade e eficiência dos processos industriais.

2.7 ARMAZENAMENTO *ONLINE*

A Computação em Nuvem é um modelo que possibilita o acesso a aplicações e serviços de forma remota, a qualquer momento e em qualquer dispositivo com conexão à internet. Esse conceito é essencial para dispositivos inteligentes, que necessitam de acesso contínuo a recursos disponíveis na rede.

No ambiente industrial, a geração de dados é constante, exigindo processamento, armazenamento e atualização frequentes. Com isso, há uma migração crescente do processamento e do armazenamento de informações de computadores locais para grandes provedores de serviços em nuvem. Essa mudança proporciona maior escalabilidade, segurança e disponibilidade dos dados.

A velocidade de processamento é um fator crítico para o desempenho e a competitividade das empresas, uma vez que impacta diretamente a eficiência operacional e a tomada de decisões. O desempenho do sistema depende da capacidade de processar grandes volumes de dados em tempo hábil. No entanto, à medida que mais dispositivos se conectam à rede, aumenta o risco de congestionamento e latência, o que pode comprometer a eficiência e a resposta em tempo real dos processos industriais. (COSTA, 2023).

O armazenamento *online* é uma das bases tecnológicas da Indústria 4.0, permitindo o gerenciamento e o acesso a grandes volumes de dados em tempo real. Por meio de plataformas em nuvem ou bancos de dados especializados, como o InfluxDB, os dados gerados por sensores, atuadores e sistemas de controle podem ser centralizados, organizados e analisados remotamente.

Essa abordagem é essencial para a conectividade e integração dos sistemas industriais, pois possibilita que informações relevantes estejam disponíveis em qualquer lugar, favorecendo tomadas de decisão rápidas e baseadas em dados. Além disso, o armazenamento *online* viabiliza a aplicação de tecnologias avançadas, como aprendizado de máquina e análise preditiva, aumentando a eficiência e a previsibilidade dos processos.

2.7.1 ARMAZENAMENTO OFFLINE

O armazenamento *offline* complementa o *online* ao fornecer uma solução local e segura para a gestão de dados. Em muitas aplicações industriais, os sistemas de armazenamento *offline*, como bancos de dados MySQL, são usados para capturar e manter informações sensíveis ou operacionais que não dependem diretamente de uma conexão constante com a rede.

Essa abordagem é particularmente importante em situações onde há restrições de conectividade ou requisitos de alta segurança. O armazenamento *offline* garante que os dados permaneçam disponíveis para auditorias, análises locais e backup, proporcionando redundância ao sistema e assegurando a continuidade das operações em caso de falhas de comunicação.

2.8 MONITORAMENTO ONLINE

O monitoramento *online*, também conhecido como supervisão remota, é uma aplicação direta das tecnologias de conectividade e armazenamento *online*. Por meio de *dashboards* em tempo real, como os desenvolvidos no Node-RED ou no Grafana, os operadores podem visualizar informações críticas do processo industrial, como níveis de tanque, estados de máquinas ou consumo de energia.

Essa prática reduz significativamente o tempo de resposta a eventos críticos, permitindo que ajustes ou intervenções sejam realizados de maneira rápida e precisa, mesmo à distância. O monitoramento *online* também favorece a análise histórica de dados operacionais, fornecendo *insights* valiosos para a melhoria contínua dos processos.

3. CAPÍTULO III - COMPOSIÇÃO TÉCNICA

3.1 TIA PORTAL

O TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) da Siemens é uma plataforma completa e integrada para o desenvolvimento de soluções de automação industrial. Ele proporciona um ambiente unificado para a programação e configuração de dispositivos como PLCs (Controladores Lógicos Programáveis), HMIs (Interfaces Homem-Máquina), sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e acionamentos, promovendo uma abordagem holística à automação.

Sua importância no cenário da Indústria 4.0 é significativa devido a várias características e capacidades que tornam o TIA Portal uma ferramenta indispensável para a criação de sistemas de automação avançados e eficientes.

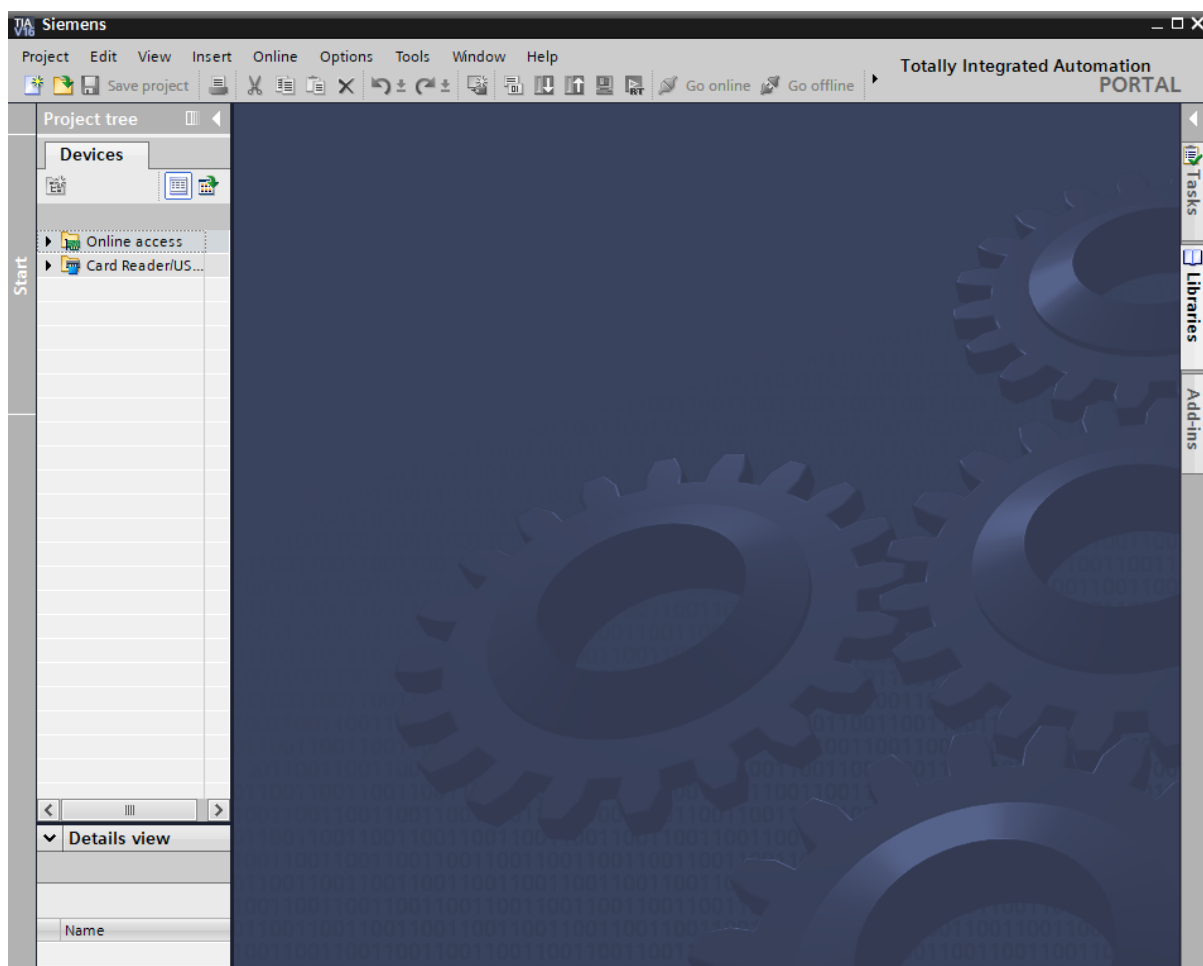
Uma das principais vantagens do TIA Portal é a sua capacidade de integrar diversos componentes de automação em um único ambiente de desenvolvimento. Essa integração facilita a comunicação entre diferentes dispositivos e sistemas, eliminando a necessidade de múltiplos *softwares* e interfaces, o que simplifica a configuração e manutenção do sistema. (SIEMENS, 2024).

O TIA Portal suporta uma ampla gama de protocolos de comunicação, incluindo PROFINET e PROFIBUS, que são padrões na indústria para a comunicação entre dispositivos de automação. Esta interoperabilidade permite a conexão fácil e confiável de componentes de diferentes fabricantes, promovendo uma maior flexibilidade e escalabilidade dos sistemas de automação.

Em suma, o TIA Portal representa um avanço significativo na automação industrial, proporcionando uma plataforma robusta e versátil que atende às necessidades crescentes de integração, eficiência e flexibilidade na Indústria 4.0. Sua capacidade de unificar a programação, a configuração e o gerenciamento de projetos de automação tornam-no uma escolha ideal para engenheiros e empresas que buscam otimizar seus processos e se manter à frente em um mercado cada vez mais competitivo e dinâmico.

A Figura 7 apresenta a interface do *software Totally Integrated Automation Portal* (TIA Portal) da Siemens.

Figura 7 - Software TIA Portal.



Fonte: Autoria própria.

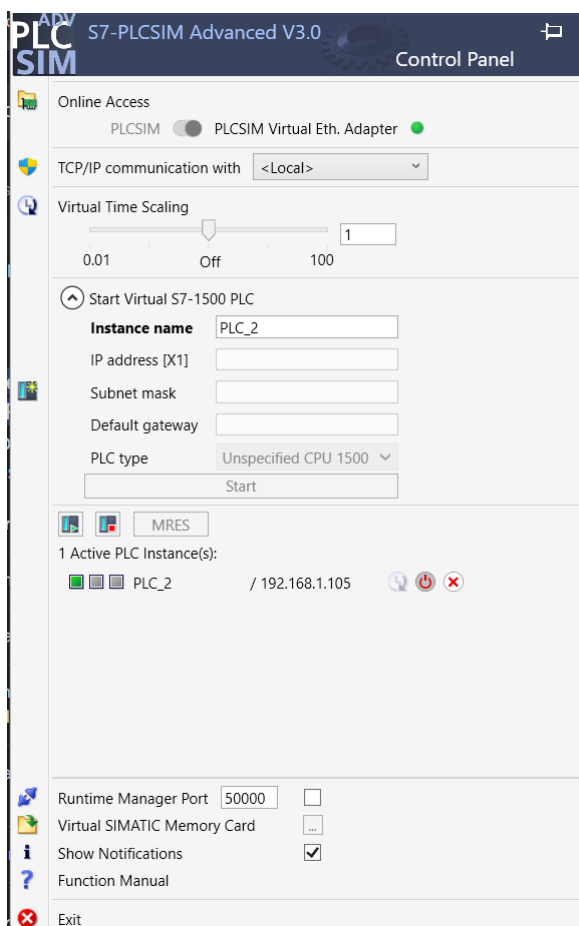
3.2 PLCSIM ADVANCED

O *PLCSIM Advanced* é um *software* que permite a simulação de um PLC (Controlador Lógico Programável) de forma mais próxima à realidade. Com ele, é possível criar controladores virtuais para simular os controladores S7-1500 e ET 200SP, e testá-los em um sistema ou máquina. (SIEMENS, 2024).

A Figura 7 apresenta a interface do *software PLCSIM Advanced V3*, onde foi utilizado neste projeto para a simulação virtual do controlador Siemens S7-1500, permitindo testar e validar a lógica de programação sem a necessidade de um *hardware* físico.

Além disso, a simulação via *PLCSIM Advanced* viabiliza a comunicação com outras plataformas, como Factory I/O e Node-RED via OPC UA, permitindo a análise do comportamento do sistema em um ambiente virtual antes da implementação final.

Figura 8 - *Software PLCSIM Advanced*.



Fonte: Autoria própria.

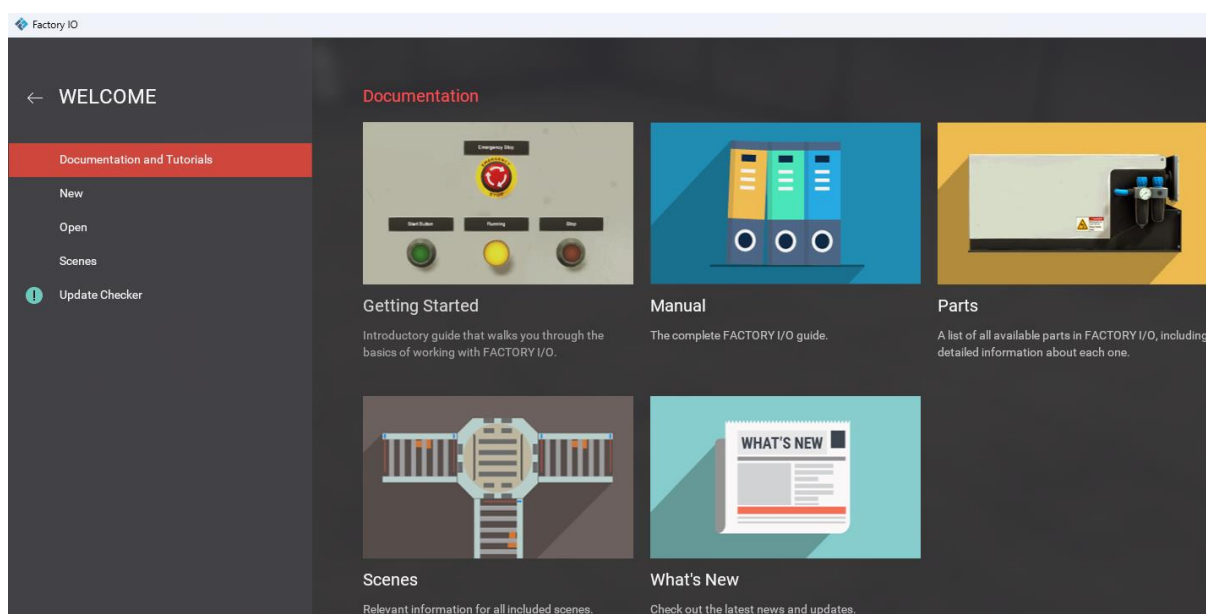
3.3 FACTORY IO

O Factory I/O é uma plataforma de simulação 3D amplamente utilizada no ensino, desenvolvimento e teste de sistemas de automação industrial. Esse *software* possibilita a criação de ambientes industriais virtuais detalhados, permitindo a simulação e validação de processos de fabricação e automação de forma realista.

No contexto da Indústria 4.0, o Factory I/O desempenha um papel fundamental ao integrar simulação avançada com sistemas reais. A Figura 9 ilustra a tela inicial do

software, onde, no canto esquerdo, encontra-se o ambiente de desenvolvimento das cenas responsáveis pela simulação de processos industriais. Esse espaço é essencial para configurar cenários que replicam operações do chão de fábrica, possibilitando a realização de testes e ajustes antes da implementação em sistemas reais. (REAL GAMES, 2024).

Figura 9 - *Software Factory I/O*.



Fonte: Autoria própria.

Uma das principais características do Factory I/O é a sua capacidade de criar ambientes de simulação extremamente realistas. O *software* oferece uma ampla gama de componentes e dispositivos industriais, como transportadores, sensores, atuadores, robôs e máquinas, que podem ser configurados e integrados em um cenário de fábrica virtual. Esses componentes são modelados com precisão, permitindo que os usuários experimentem e interajam com um ambiente industrial que reflete as condições e desafios do mundo real. Esta capacidade de criar simulações detalhadas facilita o aprendizado e a experimentação sem os riscos e custos associados ao uso de equipamentos físicos.

Uma das funcionalidades mais importantes do Factory I/O é a sua capacidade de integração com sistemas de automação reais. O *software* suporta uma ampla gama de protocolos de comunicação industrial, como OPC UA, Modbus e MQTT, permitindo

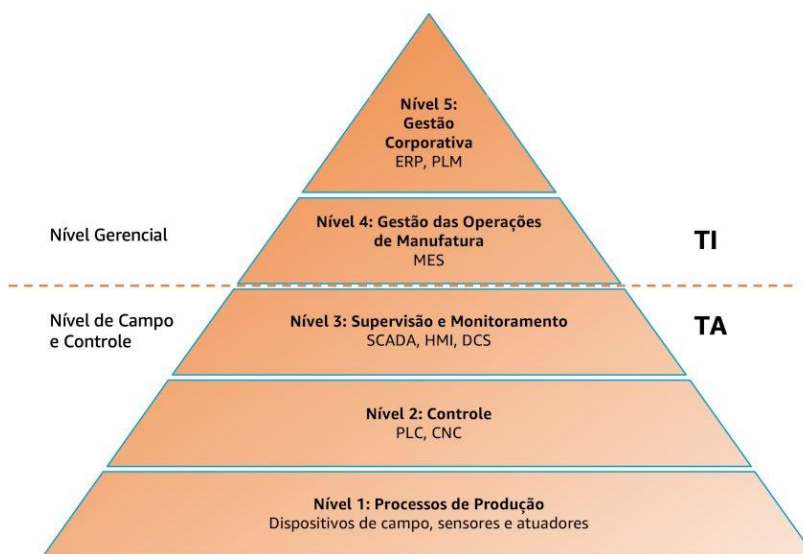
a comunicação direta com PLCs (Controladores Lógicos Programáveis), SCADAs (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e outros sistemas de controle. Esta integração facilita o desenvolvimento e a validação de lógicas de controle em um ambiente virtual antes da implementação em campo. Ao testar e depurar sistemas de automação no Factory I/O, os engenheiros podem identificar e corrigir problemas em um estágio inicial, melhorando a eficiência e a confiabilidade dos sistemas de automação quando implantados em ambientes de produção reais. (REAL GAMES, 2024).

3.4 OPC UA

A norma ISA-95, desenvolvida pela International Society of Automation (ISA), define um padrão para a interface automatizada entre sistemas corporativos e sistemas de controle industrial. Seu principal objetivo é estabelecer modelos estruturados e terminologias padronizadas que facilitem a integração e troca de informações entre os sistemas empresariais e os sistemas operacionais de uma planta industrial.

Além disso, a norma apresenta uma hierarquia dos níveis industriais, geralmente representada em forma de pirâmide, conforme apresenta na Figura 10, organizando as tecnologias e funções presentes em cada nível. Essa estrutura visa garantir uma comunicação eficiente e padronizada entre os diferentes sistemas, utilizando protocolos específicos para cada camada da automação, proporcionando maior interoperabilidade, transparência e flexibilidade nos processos industriais.

Figura 10 - Modelo Funcional ISA-95 para a Indústria Manufatureira.

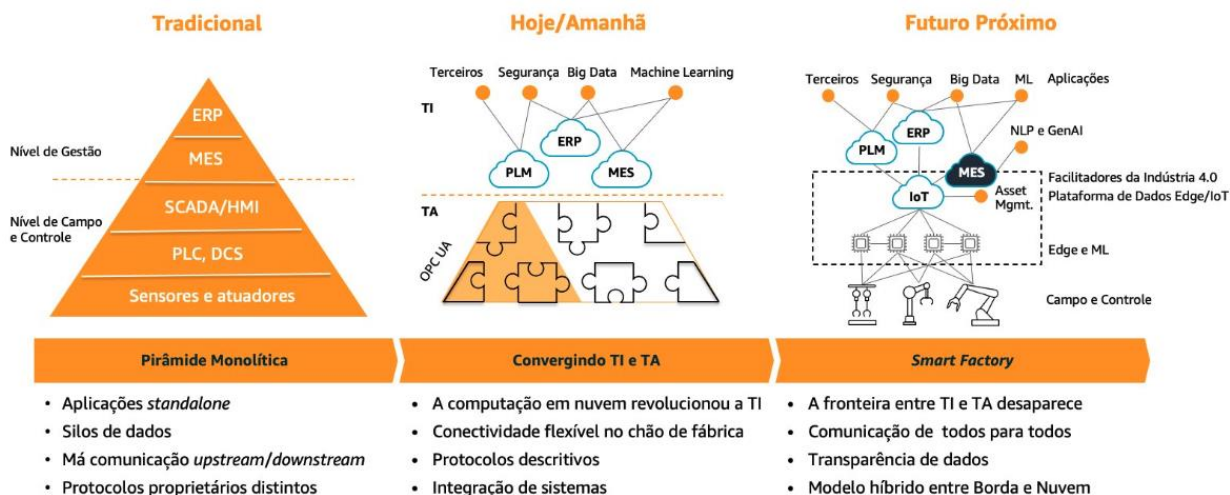


Fonte: Adaptado de *AMAZON WEB SERVICES* (2022).

No nível mais inferior da pirâmide se encontram os dispositivos que estão em contato direto com o processo produtivo, como os sensores e atuadores, tendo como objetivo coletar dados e atuar sobre o processo. No nível de controle, são os dispositivos de controle que coletam os dados vindos dos sensores, assim tomando decisões e enviando dados para os atuadores. No nível de supervisão se encontram as IHMs e os sistemas de SCADA que têm como função apresentar as informações sobre o processo produtivo. Conforme apresentado, entre essas comunicações se encontra o OPC/UA, responsável por realizar a comunicação entre dispositivos de controle e nível de supervisão.

A figura 11 ilustra a transformação da comunicação industrial ao longo do tempo, passando de um modelo tradicional rigidamente estruturado para um ambiente altamente integrado e flexível dentro do conceito da Indústria 4.0. Essa evolução ocorre em três estágios principais: Tradicional, Hoje/Amanhã e Futuro Próximo.

Figura 11 - Visão para a evolução da tecnologia de Manufatura: do ISA-95 à Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de AMAZON WEB SERVICES (2022).

No modelo tradicional, os sistemas são organizados em uma pirâmide monolítica, com diferentes camadas hierárquicas, como ERP (*Enterprise Resource Planning*), MES (*Manufacturing Execution System*), SCADA/HMI (*Supervisory Control and Data Acquisition/Human Machine Interface*) e PLC/DCS (*Programmable Logic Controller/Distributed Control System*). Esses sistemas operam de forma independente, utilizando protocolos proprietários distintos, o que dificulta a comunicação e a integração de dados.

Com a transição para o estágio "Hoje/Amanhã", ocorre a convergência entre Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia da Automação (TA). A computação em nuvem revoluciona a TI, permitindo uma conectividade mais flexível no chão de fábrica. Protocolos descritivos e abertos começam a substituir os proprietários, facilitando a integração entre sistemas e proporcionando maior eficiência operacional.

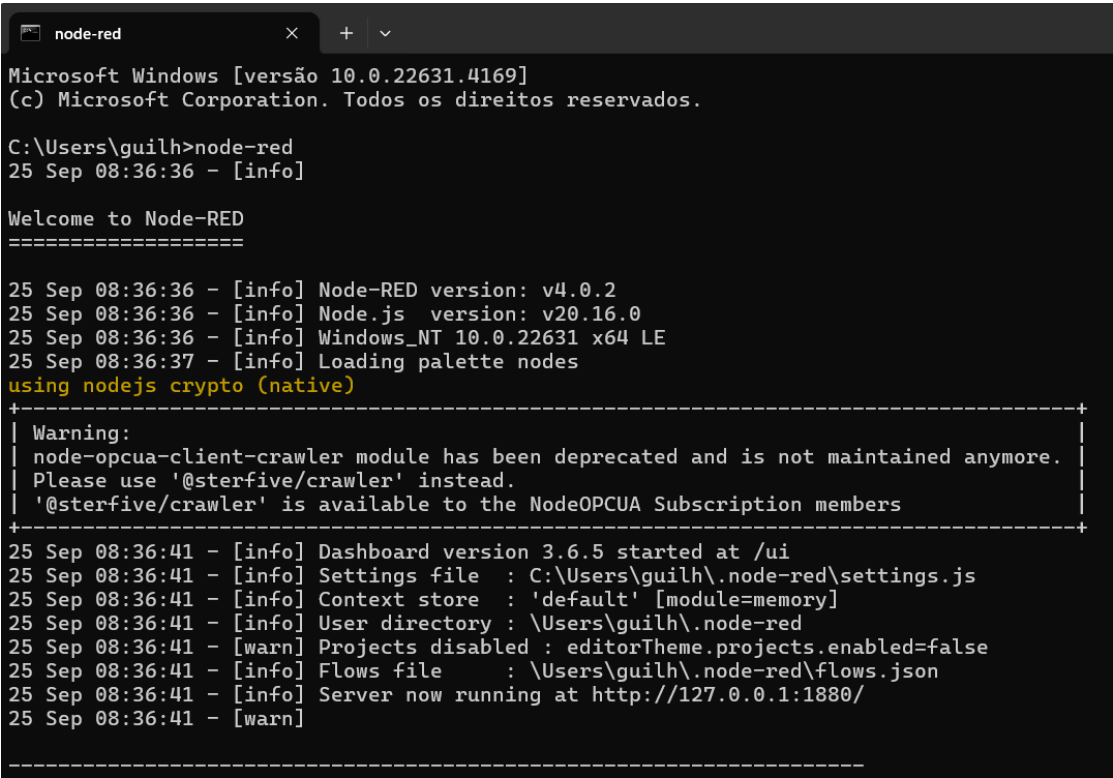
No "Futuro Próximo", a comunicação entre todos os sistemas e dispositivos é universal e transparente, permitindo um fluxo de dados contínuo entre os diferentes níveis da automação industrial. Tecnologias como IoT (Internet das Coisas), Big Data, *Machine Learning*, Inteligência Artificial (IA), Computação em Borda e Nuvem são amplamente aplicadas, possibilitando maior automação, eficiência e capacidade preditiva. Além disso, os sistemas passam a ser orientados por microsserviços, com plataformas que operam de maneira descentralizada, facilitando a escalabilidade e adaptação a novas demandas industriais. (AMAZON WEB SERVICES, 2025).

3.5 NODE RED

Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento de fluxo amplamente utilizada para integrar dispositivos, APIs e serviços *online*. Desenvolvida pela IBM e mantida por uma grande comunidade de desenvolvedores, esta plataforma de código aberto se destaca pela sua interface visual intuitiva que permite a criação de fluxos de trabalho e sistemas de automação de maneira eficiente e flexível. No contexto da Indústria 4.0, o Node-RED desempenha um papel fundamental ao facilitar a integração de tecnologias diversas, promovendo a conectividade e a automação inteligente dos processos industriais. (NODE RED, 2024).

A Figura 12 mostra a inicialização do Node-RED via CMD, usando o comando `node-red`, que ativa o servidor e disponibiliza a interface *web*.

Figura 12 - Inicialização do serviço do Node Red.



```
node-red
Microsoft Windows [versão 10.0.22631.4169]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\guilh>node-red
25 Sep 08:36:36 - [info]

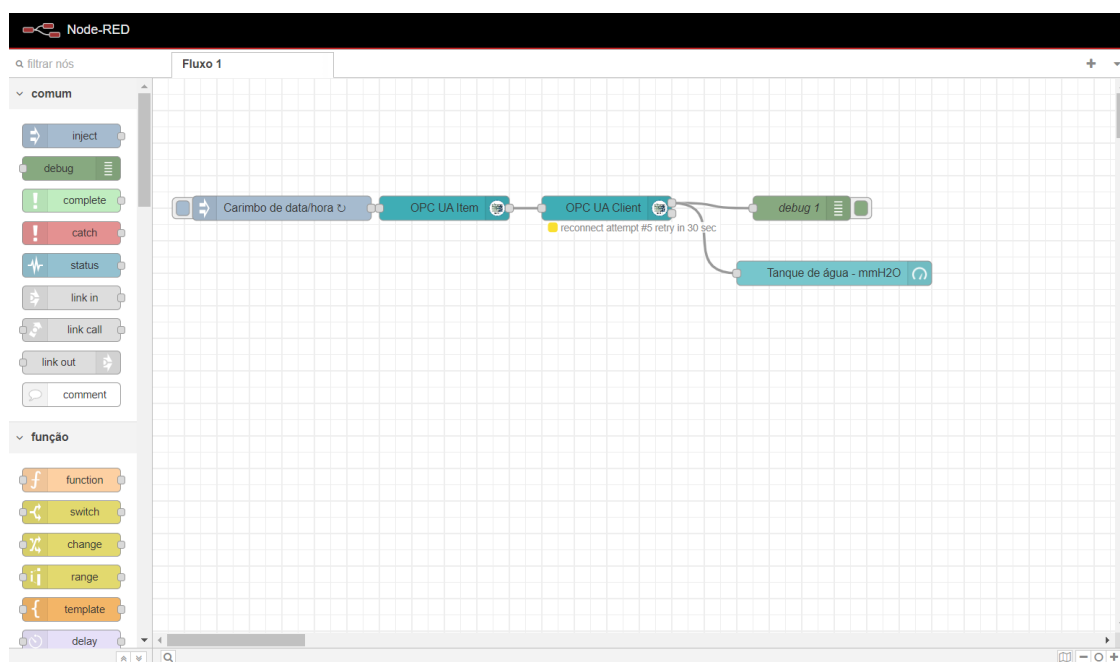
Welcome to Node-RED
=====

25 Sep 08:36:36 - [info] Node-RED version: v4.0.2
25 Sep 08:36:36 - [info] Node.js version: v20.16.0
25 Sep 08:36:36 - [info] Windows_NT 10.0.22631 x64 LE
25 Sep 08:36:37 - [info] Loading palette nodes
using nodejs crypto (native)
+-----+
| Warning:
| node-opcua-client-crawler module has been deprecated and is not maintained anymore.
| Please use '@sterfive/crawler' instead.
| '@sterfive/crawler' is available to the NodeOPCUA Subscription members
+-----+
25 Sep 08:36:41 - [info] Dashboard version 3.6.5 started at /ui
25 Sep 08:36:41 - [info] Settings file : C:\Users\guilh\.node-red\settings.js
25 Sep 08:36:41 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
25 Sep 08:36:41 - [info] User directory : \Users\guilh\.node-red
25 Sep 08:36:41 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
25 Sep 08:36:41 - [info] Flows file : \Users\guilh\.node-red\flows.json
25 Sep 08:36:41 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
25 Sep 08:36:41 - [warn]
```

Fonte: Autoria própria.

Já a Figura 13 apresenta um fluxo de exemplo, com nós conectados para processar dados e integrar dispositivos, demonstrando a lógica visual do Node-RED.

Figura 13 - Exemplo de fluxo desenvolvido em Node Red.



Fonte: Autoria própria.

Node-RED se destaca por sua capacidade de integrar uma vasta gama de tecnologias e protocolos de comunicação, o que é crucial na Indústria 4.0, onde a interoperabilidade e a conectividade são essenciais. A plataforma suporta protocolos como MQTT, OPC UA, Modbus, HTTP e muitos outros, permitindo a comunicação fácil e eficiente entre diferentes dispositivos e sistemas. Esta compatibilidade facilita a integração de sensores, atuadores, PLCs, sistemas de TI e serviços de nuvem, criando uma rede interconectada que suporta a automação e o monitoramento em tempo real. A capacidade de conectar e orquestrar múltiplos sistemas e serviços é fundamental para a criação de fábricas inteligentes e interconectadas, que são a base da Indústria 4.0. (NODE RED, 2024).

3.6 INFLUXDB

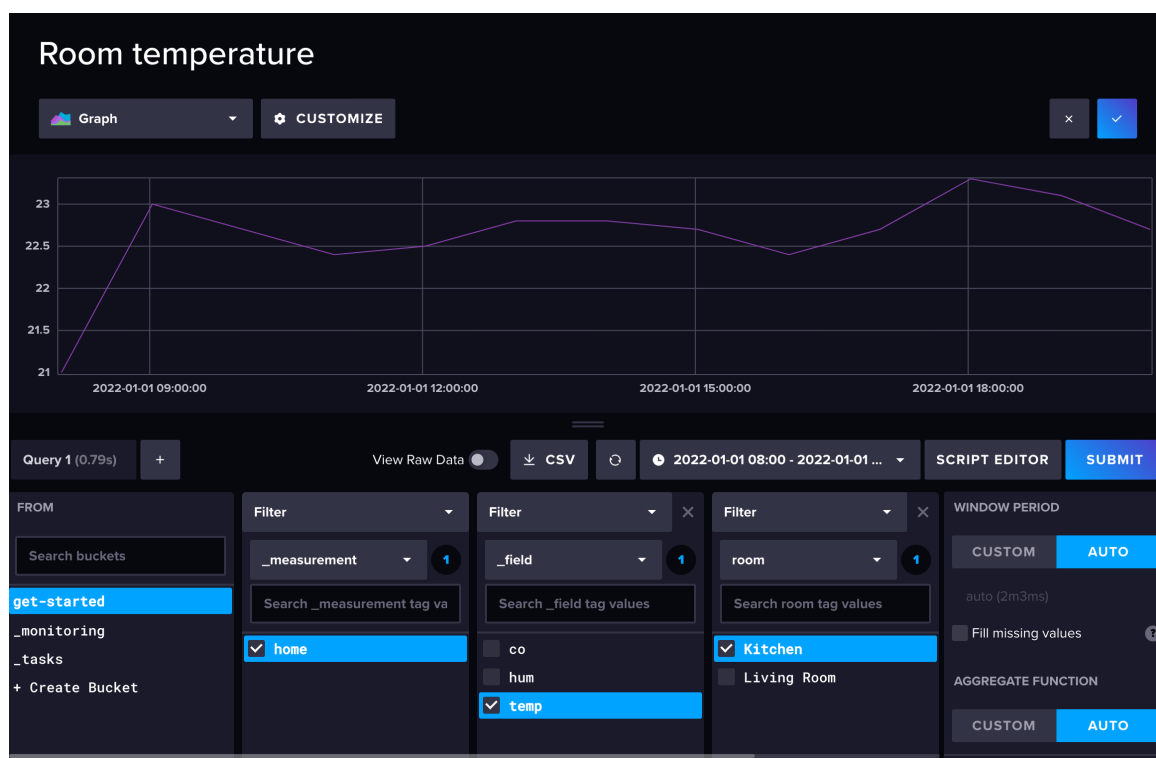
O InfluxDB *Cloud* é uma plataforma robusta e especializada projetada para coletar, armazenar, processar e visualizar dados de séries temporais de forma eficiente e escalável. Dados de séries temporais consistem em observações sequenciais de uma variável ao longo do tempo, onde cada ponto de dados representa uma medição realizada em um momento específico. Esses dados são essenciais para

monitorar mudanças e tendências ao longo do tempo, permitindo a identificação de padrões não aleatórios que podem ser utilizados para prever comportamentos futuros e embasar decisões estratégicas.

O InfluxDB *Cloud* foi desenvolvido para lidar com grandes volumes de dados de séries temporais em tempo real, oferecendo alta performance e flexibilidade. (INFLUXDATA, 2024).

A Figura 14 apresenta um painel de visualização de dados no InfluxDB, exibindo a variação da temperatura ao longo do tempo em diferentes ambientes.

Figura 14 - InfluxDB exemplo - Monitoramento de Temperatura.



Fonte: Adaptado de influxdata (2024).

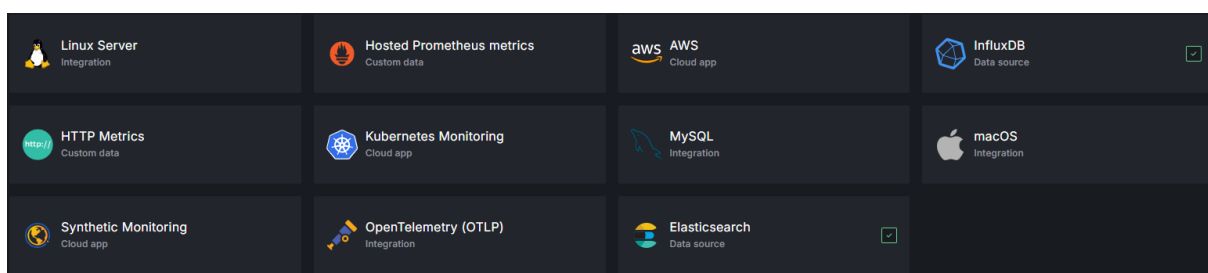
O InfluxDB *Cloud* se destaca por sua arquitetura otimizada para séries temporais, que permite ingestão rápida de dados, consultas eficientes e armazenamento compacto. Além disso, ele oferece integração nativa com ferramentas de visualização de dados, como o Grafana, e suporte a linguagens de consulta poderosas, como o SQL, que permite manipulação e análise avançada de dados.

3.7 GRAFANA

O Grafana *Cloud* é uma plataforma de observabilidade que simplifica o monitoramento, a análise e a visualização de dados em tempo real. Com a crescente complexidade dos sistemas, tornou-se uma ferramenta essencial para empresas que buscam otimizar a gestão de infraestrutura e aplicações.

Uma das principais vantagens é sua ampla integração com fontes de dados como InfluxDB, Prometheus e MySQL, permitindo consolidar informações de diversos sistemas em painéis únicos e interativos, conforme é apresentado na figura 15. Isso facilita a análise e a tomada de decisões, com visualizações intuitivas e de fácil interpretação. (Grafana, 2024).

Figura 15 - Fontes de dados para o Grafana *Cloud*.



Fonte: Adaptado de Grafana (2025).

Além disso, o Grafana *Cloud* oferece alertas em tempo real, que monitoram continuamente o desempenho do sistema. Quando um valor ultrapassa limites pré-definidos, alertas são disparados, permitindo que equipes de TI ajam proativamente para evitar falhas e indisponibilidades.

A criação de painéis no Grafana, conforme é ilustrado na Figura 16, é um dos principais recursos da plataforma, permitindo a visualização e análise de dados em tempo real de forma personalizada. Os painéis são compostos por *dashboards*, que reúnem diferentes gráficos, tabelas e indicadores para monitoramento de variáveis, como métricas de desempenho de sistemas, sensores industriais e logs de aplicações.

Cada painel pode conter múltiplos painéis individuais, configurados com diferentes tipos de visualização, como gráficos de linha, barras, *gauges*, mapas de

calor, entre outros. Além disso, é possível personalizar a aparência e os intervalos de atualização, garantindo uma melhor adaptação às necessidades do usuário.

Figura 16 - Exemplo ilustrativo de painel no Grafana.



Fonte: Adaptado de Grafana (2025).

A escalabilidade e o gerenciamento simplificado são outros destaques. Como uma solução baseada na nuvem, a plataforma elimina a necessidade de manutenção de infraestrutura ou atualizações manuais, reduzindo a sobrecarga operacional e permitindo que as equipes se concentrem na análise de dados. Por fim, a flexibilidade de planos, que vai desde uma versão gratuita para pequenas implementações até opções pagas para grandes empresas, permite escolher a solução que melhor se adapta ao volume de dados e ao nível de suporte necessário.

4. CAPÍTULO IV - MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema simulado que represente o funcionamento de tecnologias associadas à Indústria 4.0, com foco na avaliação de sua viabilidade técnica para implementação em processos produtivos atuais. A proposta busca promover avanços na interoperabilidade industrial, no compartilhamento eficiente de informações e na integração entre sistemas físicos e digitais, pilares fundamentais dessa nova era industrial.

A construção do projeto será realizada em etapas sequenciais. Inicialmente, será estabelecida a conexão entre o controlador industrial e o simulador de processo produtivo. Em seguida, será promovida a integração entre Tecnologias da Informação (TI) e sistemas de Automação Industrial (TA), possibilitando uma comunicação efetiva e a troca de dados em tempo real.

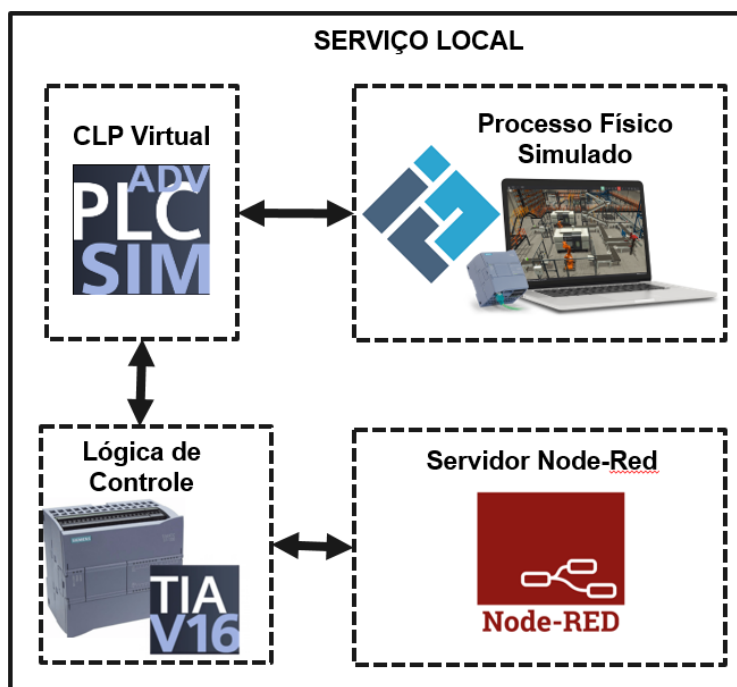
A proposta se estrutura em duas frentes principais: o Serviço Local, responsável pela simulação do processo produtivo e pela lógica de controle, e o Serviço *Online*, que viabiliza o armazenamento e monitoramento remoto dos dados coletados.

No Serviço Local, a comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e o simulador de processo físico é fundamental para validar as estratégias de automação antes de sua aplicação prática. O CLP virtual, representado pelo *PLCSIM Advanced*, simula o funcionamento de um controlador real, permitindo testes e ajustes sem a necessidade de um equipamento físico.

A programação e configuração do CLP são realizadas no TIA Portal V16, que possibilita a criação da lógica de controle necessária para comandar o processo produtivo simulado.

Esse processo ocorre dentro do Factory I/O, um ambiente gráfico interativo que reproduz linhas de produção, transporte de materiais e interações com sensores e atuadores. Além disso, a comunicação entre os componentes é intermediada pelo Node-RED, que funciona como um servidor responsável por integrar os sistemas industriais e permitir a troca de informações entre dispositivos e plataformas, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Arquitetura do Serviço Local.



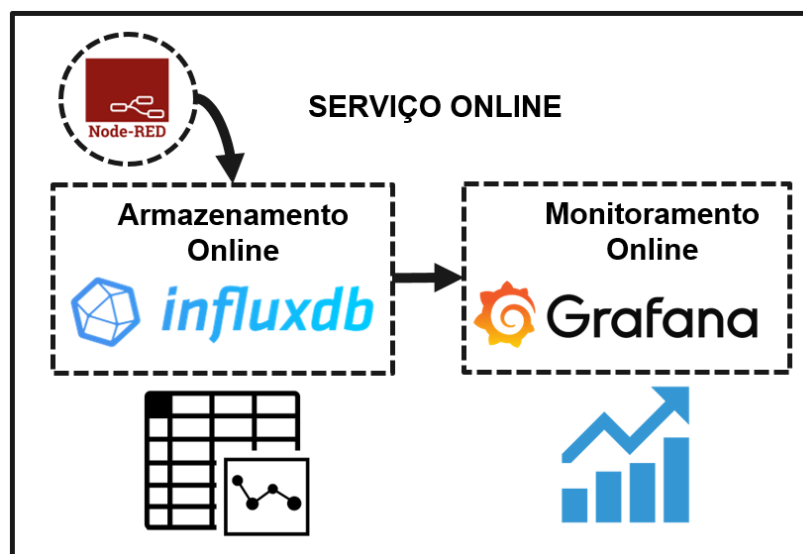
Fonte: Autoria própria.

A segunda etapa do projeto, ilustrada pela Figura 18, denominada Serviço *Online*, foca na coleta, armazenamento e monitoramento dos dados provenientes do sistema simulado.

Para isso, o InfluxDB é utilizado como banco de dados orientado a séries temporais, armazenando variáveis como medições de sensores, estados de atuadores e registros de eventos do sistema produtivo.

Esses dados são enviados para o banco de dados por meio do Node-RED, garantindo a integração entre a automação industrial e as soluções de TI. Posteriormente, as informações armazenadas são analisadas e visualizadas através do Grafana, uma plataforma de monitoramento que permite a criação de *dashboards* interativos, possibilitando a interpretação e tomada de decisões baseada nos dados coletados.

Figura 18 - Arquitetura do Serviço Online.



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, a proposta apresentada demonstra a viabilidade de implementação de tecnologias da Indústria 4.0 em processos produtivos, conectando automação industrial e infraestrutura de TI em um ambiente simulado. A modelagem do sistema permite testar diferentes cenários, validar estratégias de controle e otimizar processos antes de sua aplicação prática, promovendo maior eficiência, redução de custos e melhor tomada de decisões. Assim, este trabalho contribui para a modernização da indústria ao oferecer um modelo experimental acessível e adaptável às necessidades do setor produtivo.

Para garantir a comunicação eficiente entre os dispositivos envolvidos no sistema de aquisição de dados, é essencial compreender a estrutura da rede e a distribuição dos endereços IP. No presente trabalho, os dispositivos interagem por meio do protocolo OPC UA, utilizando um servidor central baseado no Node-RED, responsável por intermediar a comunicação entre sensores, PLC (Controlador Lógico Programável) e o banco de dados InfluxDB.

Cada dispositivo participante da rede possui um endereço IP único, permitindo a identificação e a troca de informações de forma estruturada. A tabela 1 abaixo apresenta a distribuição dos IPs utilizados no experimento, incluindo suas respectivas funções no sistema.

Tabela 1 - Endereçamento IP.

Dispositivo	Endereço IP	Função
PLC Siemens S7-1500	192.168.1.105	Aquisição de sinais e controle do processo
Simulador PLCSIM	192.168.1.205	Simulação do PLC para testes e validação
Servidor Central (Node-RED)	http://127.0.0.1:1880/	Processamento, intermediação e envio de dados
Banco de Dados InfluxDB	https://us-east-1-1.aws.Cloud2.influxdata.com/	Armazenamento dos dados adquiridos
Dashboard Grafana	https://guilhermerez13.grafana.net/public-dashboards/	Visualização e monitoramento dos dados em tempo real

Fonte: Autoria própria.

4.1 ESTUDO DAS FERRAMENTAS

A Indústria 4.0 é caracterizada pela utilização de tecnologias avançadas que visam otimizar processos produtivos, aumentar a conectividade e promover maior eficiência operacional. Nesse contexto, o estudo das ferramentas disponíveis se torna um passo essencial para selecionar aquelas que melhor atendem às necessidades específicas do projeto, garantindo sua viabilidade técnica e alinhamento com os objetivos propostos.

As ferramentas relacionadas à Indústria 4.0 abrangem uma ampla gama de aplicações, desde o desenvolvimento e a programação de sistemas até a visualização e análise de dados.

Além das ferramentas de desenvolvimento, a simulação é um aspecto crucial para validar sistemas de automação em ambientes controlados. Neste projeto, o Factory I/O foi escolhido por sua capacidade de representar processos produtivos de forma realista, incluindo sensores, atuadores e fluxos industriais.

No campo da comunicação, protocolos robustos são indispensáveis para garantir a interoperabilidade entre sistemas. O OPC UA, utilizado no presente trabalho, é amplamente reconhecido por sua capacidade de integrar dispositivos heterogêneos em ambientes industriais, assegurando uma comunicação segura e

confiável. Alternativamente, o protocolo MQTT oferece uma solução leve e eficiente, sendo ideal para aplicações baseadas em IoT, onde baixa latência e alta confiabilidade são primordiais.

O armazenamento e o processamento de dados são igualmente relevantes para o sucesso de projetos industriais modernos. Soluções como o InfluxDB destacam-se por sua especialização em séries temporais, armazenando dados de sensores e estados de máquinas de forma eficiente. Outras opções, como o PostgreSQL, também podem ser exploradas, oferecendo maior versatilidade para aplicações que envolvam dados relacionais complexos.

Por fim, a visualização e análise dos dados desempenham um papel fundamental na supervisão de sistemas. Ferramentas como o Node-RED, utilizadas neste trabalho, proporcionam uma interface intuitiva para monitoramento em tempo real. O Grafana, por sua vez, é uma solução poderosa para criar *dashboards* avançados que facilitam a análise de dados históricos, enquanto plataformas como o Tableau oferecem funcionalidades interativas que podem ser úteis em contextos industriais mais amplos.

O estudo e a escolha dessas ferramentas são essenciais para garantir que as soluções tecnológicas adotadas sejam eficazes e compatíveis com os requisitos do projeto. Aspectos como custo, curva de aprendizado, compatibilidade e suporte técnico precisam ser cuidadosamente avaliados para assegurar não apenas a funcionalidade esperada, mas também a escalabilidade e a adaptabilidade do sistema no ambiente industrial. Dessa forma, a análise de ferramentas não apenas contribui para a execução bem-sucedida do projeto, mas também estabelece as bases para futuras implementações em ambientes produtivos reais.

4.2 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO NO TIA PORTAL

Neste capítulo, será apresentada a lógica de programação desenvolvida no TIA Portal para o controle de nível em um sistema simulado no Factory I/O.

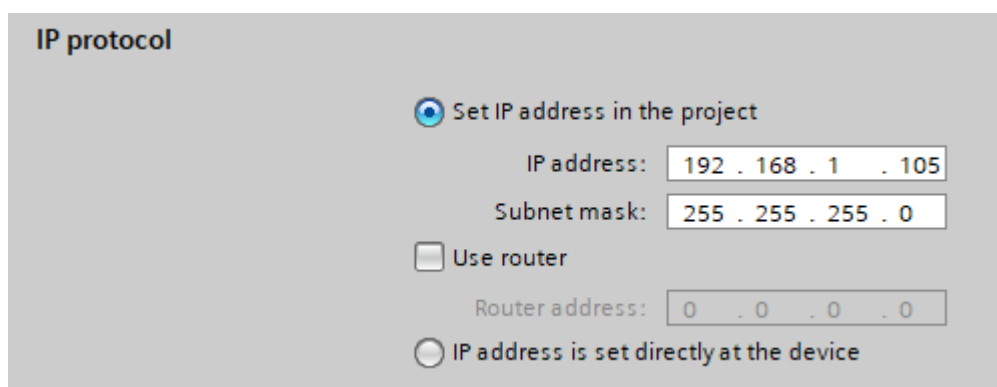
Inicialmente, será realizada a configuração do *hardware* no TIA Portal. Em seguida, será abordada a configuração do endereço IP, permitindo a comunicação entre o CLP, o Factory I/O e outros dispositivos na rede.

Na Figura 20, exibe a configuração de protocolo IP no *software* TIA Portal, utilizado para estabelecer a comunicação entre dispositivos em uma rede industrial. Nessa interface, é possível definir o endereço IP e a máscara de sub-rede de um controlador lógico programável (CLP) ou de outro dispositivo conectado.

Na opção selecionada (Set IP address in the project), o endereço IP é configurado diretamente no projeto, com o valor 192.168.1.105 atribuído ao dispositivo, e a máscara de sub-rede definida como 255.255.255.0, que indica que os dispositivos devem estar na mesma sub-rede para se comunicarem.

Essa configuração é essencial para garantir que os dispositivos possam ser integrados e comuniquem-se em uma rede industrial, possibilitando o monitoramento e controle eficiente dos processos.

Figura 20 - Configuração de Protocolo IP no TIA Portal para Comunicação em Rede Industrial.



Fonte: Autoria própria.

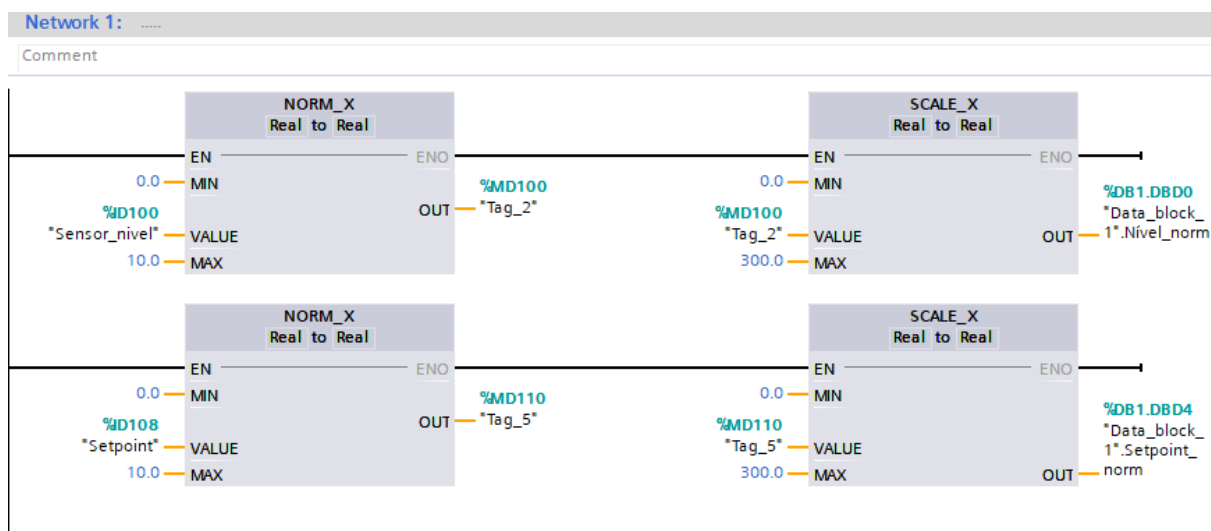
Após a configuração de *hardware*, é apresentado na Figura 21 a aplicação dos blocos NORM_X e SCALE_X no *software* TIA Portal, utilizados para processar os sinais provenientes do sensor de nível e do potenciômetro configurados na cena do Factory I/O. Esses sensores operam com uma saída analógica de 0 a 10 volts, representando o intervalo físico do nível do tanque, que varia de 0 a 300 unidades.

O bloco NORM_X tem como função realizar a normalização dos valores analógicos lidos, convertendo-os para uma escala padrão de 0 a 1. No caso do sensor de nível, seu valor é normalizado e armazenado na variável intermediária Tag_2. De forma similar, o *setpoint* ajustado pelo potenciômetro é normalizado e armazenado na variável Tag_5. Essa etapa é crucial para padronizar os dados antes de qualquer processamento adicional.

Após a normalização, o bloco SCALE_X é utilizado para escalonar os valores normalizados de volta para a escala original do processo físico, ou seja, de 0 a 300 unidades. Assim, o valor do nível do tanque, armazenado na variável *Nivel_norm*, e o *setpoint* do potenciômetro, escalonado na variável *Setpoint_norm*, são ajustados de maneira que correspondam ao intervalo físico real do processo.

Essa abordagem permite que o CLP Siemens S7-1500 processe os sinais analógicos do sistema de maneira eficiente e precisa, garantindo que os dados enviados pelos sensores e pelo operador sejam corretamente interpretados e utilizados no controle do processo simulado no Factory I/O.

Figura 21 - Normalização e Escalonamento de Variáveis para Controle de Nível.



Fonte: Autoria própria.

O bloco PID_Compact, representado na Figura 22, é uma ferramenta essencial para o controle automático do nível do tanque no processo simulado, utilizando o CLP Siemens S7-1500 no TIA Portal. Esse controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) tem como objetivo manter o nível do tanque próximo ao valor desejado (*setpoint*), ajustando a saída da válvula de alimentação com base no erro entre o valor medido pelo sensor e o valor de referência definido.

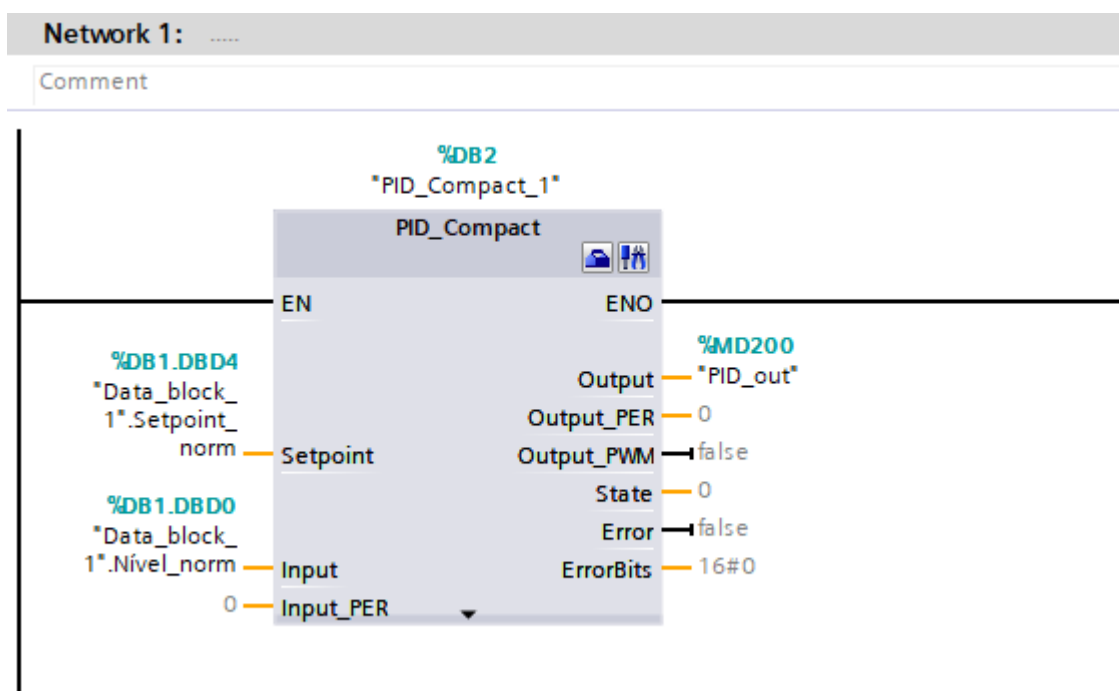
As entradas principais do bloco incluem o *setpoint*, configurado pelo operador através do potenciômetro presente na cena do Factory I/O, e o valor do nível, obtido pelo sensor que monitora continuamente a altura do líquido no tanque. Ambos os

valores passam por um processo de normalização e escalonamento para adaptar as unidades do sensor (0-10V) à escala real do processo (0-300 unidades).

Com essas informações, o controlador calcula o erro, que é a diferença entre o valor medido e o *setpoint*, e aplica os parâmetros ajustados (proporcional, integral e derivativo) para determinar a saída necessária. Essa saída, representada pela variável Output, controla diretamente a válvula de alimentação, regulando a quantidade de líquido que entra no tanque. Assim, se o nível estiver abaixo do valor desejado, o PID aumenta a abertura da válvula para permitir maior vazão. Caso o nível esteja acima, a válvula é fechada parcialmente para reduzir a entrada de líquido.

Esse controle automático é essencial para garantir estabilidade no processo, mesmo diante de possíveis distúrbios, como variações na vazão de saída ou mudanças inesperadas nas condições do sistema. A integração eficiente entre o bloco PID, o sensor de nível e a válvula de alimentação demonstra a capacidade de simular com precisão um processo real no Factory I/O, proporcionando um ambiente didático e funcional para o aprendizado de controle de processos industriais.

Figura 22 - Bloco PID.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 23 apresenta a configuração detalhada de um controlador PID em um sistema de automação industrial, essencial para o controle de variáveis como temperatura, pressão ou nível. O PID ajusta continuamente a saída para minimizar o erro entre o valor desejado (*setpoint*) e o valor medido (*process value*), garantindo desempenho e segurança. A interface exibe parâmetros e configurações fundamentais, organizados em seções específicas:

- **Basic Settings:** Define o tipo de controlador (PID, PI ou P) conforme a necessidade do processo, além de configurar as entradas (valor medido) e saídas (sinal de controle enviado ao atuador).
- **Process Value Settings:** Estabelece limites máximos e mínimos para o valor do processo (PV), assegurando operação segura, e permite escalonar os valores de entrada para unidades de engenharia, como graus Celsius ou metros.
- **Advanced Settings:** Oferece funcionalidades complementares, como monitoramento contínuo do valor do processo para detectar falhas, e configurações específicas para controle por modulação por largura de pulso (PWM), se aplicável.
- **PID Parameters:** Configura o núcleo do controlador, ajustando os parâmetros para garantir uma resposta eficiente, estável e precisa.

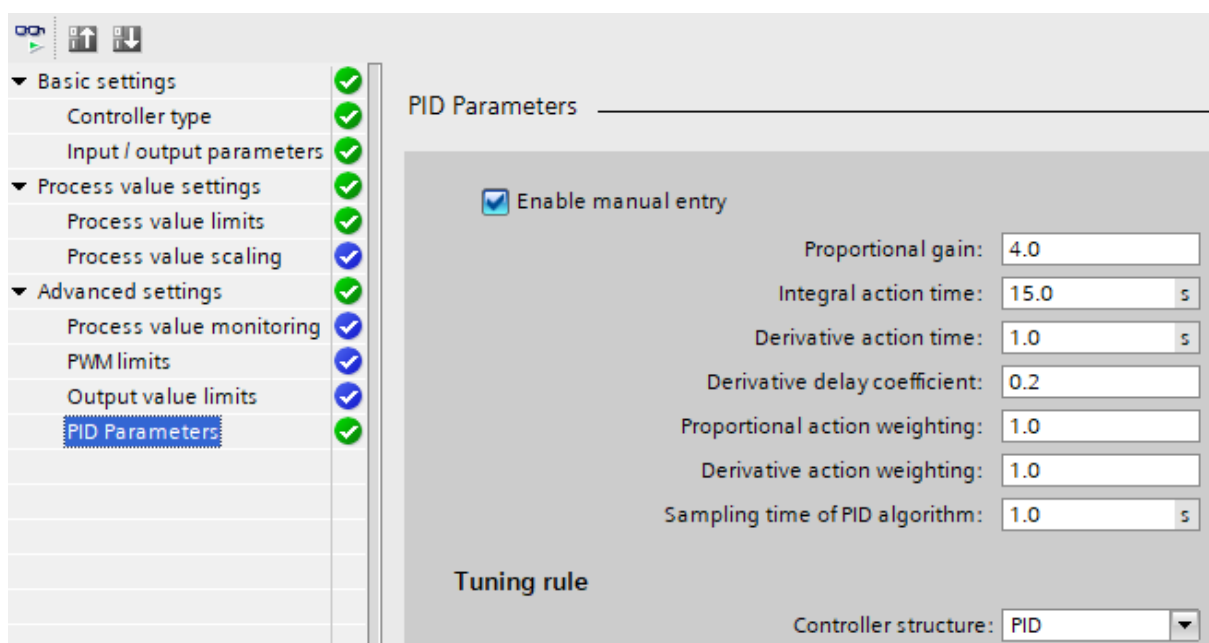
Os principais parâmetros PID são:

- **Proportional Gain (K_p):** Define a intensidade da resposta proporcional ao erro atual. No exemplo, $K_p = 4.0$ indica uma ação proporcional forte, que responde rapidamente a erros, mas valores muito altos podem causar instabilidade, enquanto valores baixos resultam em respostas lentas.
- **Integral Action Time (T_i):** Elimina erros acumulados ao longo do tempo. Com $T_i = 15.0$ segundos, o sistema corrige o erro de forma gradual. Valores baixos aceleram a correção, mas podem causar *overshoot*, enquanto valores altos tornam a resposta mais suave, porém mais lenta.
- **Derivative Action Time (T_d):** Antecipa mudanças futuras no erro com base na taxa de variação. Com $T_d = 1.0$ segundo, o controlador reage

rapidamente a mudanças bruscas, reduzindo oscilações e melhorando a estabilidade. Valores altos podem aumentar a sensibilidade a ruídos, enquanto valores baixos limitam a eficácia.

- Esses ajustes são cruciais para otimizar o desempenho do controlador, garantindo precisão, estabilidade e segurança no sistema de automação.

Figura 23 - Configurações do bloco de PID.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, na seção Output Value Limits, especificam-se os valores mínimo e máximo permitidos para o sinal de saída do controlador. Esses limites garantem que o atuador opere dentro de uma faixa segura, protegendo tanto o equipamento quanto o processo.

Essas configurações permitem que o controlador PID atue de forma precisa, estável e eficiente, adaptando-se às características dinâmicas do processo e prevenindo condições que poderiam comprometer a operação ou a segurança do sistema. A correta parametrização é essencial para obter o melhor desempenho possível e alcançar os objetivos de controle estabelecidos.

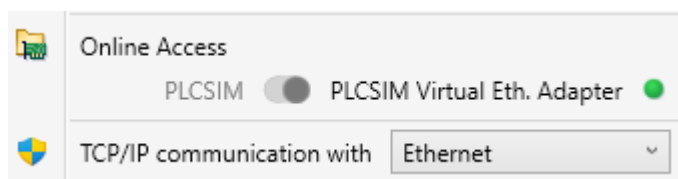
4.3 SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE NÍVEL NO FACTORY IO

A simulação do controle de nível no Factory I/O representa uma abordagem eficaz para modelar e testar processos industriais de maneira virtual, reproduzindo o comportamento de sistemas físicos com alta precisão. O uso dessa ferramenta permite a criação de um ambiente controlado, onde tanques, sensores e atuadores podem ser configurados e conectados ao controlador lógico programável (CLP) Siemens S7-1500, possibilitando uma interação próxima da realidade.

No contexto do projeto, o Factory I/O serve como um simulador do processo físico, recriando o sistema de controle de nível de líquidos.

A integração entre o Factory I/O e o CLP Siemens S7-1500 é realizada através do protocolo Ethernet industrial. Essa conexão é estabelecida utilizando o padrão TCP/IP, demonstrado na figura 24, que proporciona alta velocidade de transferência de dados e garante que as informações sejam trocadas de forma rápida e confiável.

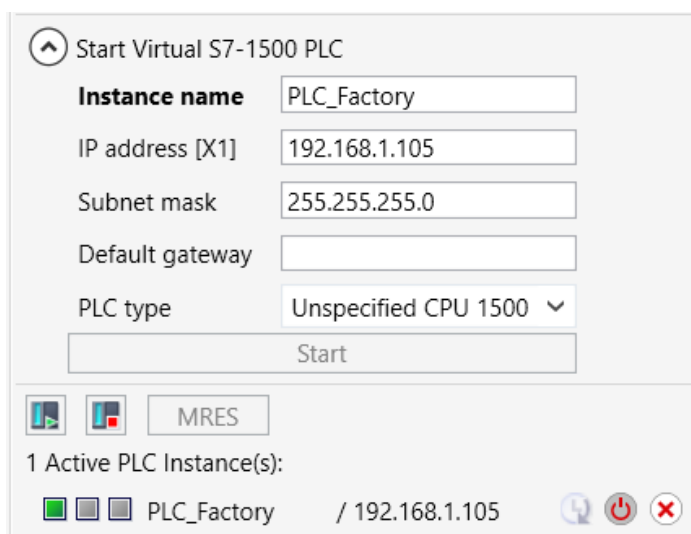
Figura 24 - Protocolo de comunicação TCP/IP.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 25 apresenta, o nome da instância ("PLC_Factory"), o endereço IP, a máscara de sub-rede e o gateway padrão configuram a rede do CLP virtual, permitindo sua comunicação com outros sistemas simulados ou reais. Essa configuração é fundamental para que o CLP virtual seja tratado como um dispositivo físico no ambiente de automação, viabilizando a integração com *softwares* como o Factory I/O e sistemas de supervisão.

Figura 25 – Configuração de conexão da simulação com o CLP.

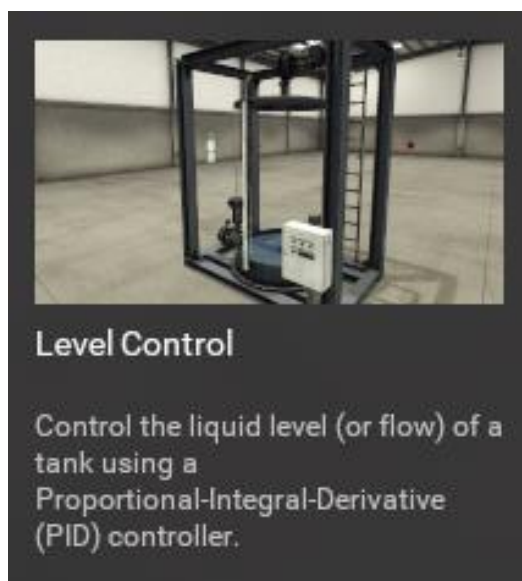


Fonte: Autoria própria.

Essas funcionalidades tornam o *PLCSIM Advanced* uma solução prática para verificar a lógica de controle, otimizando o desenvolvimento e reduzindo riscos antes da implementação final em campo.

No Factory I/O, a cena para controle de nível simula um processo industrial que envolve a manipulação de líquidos em tanques, utilizando componentes essenciais para a automação e o controle preciso do sistema. Essa simulação é uma representação de cenários encontrados em processos industriais.

Figura 26 - Cena Level Control no factory I/O.



Fonte: Autoria própria.

Na cena representada pela Figura 27, o tanque de armazenamento é o elemento central, onde ocorre o controle do nível de líquido. Ele está equipado com sensor de nível, responsável por detectar o volume do líquido no tanque. Esse sensor fornece sinal ao controlador lógico programável (CLP), que utiliza essa informação para tomar decisões automáticas em tempo real.

A válvula de alimentação é responsável pelo fluxo de entrada do líquido no tanque. Sua abertura ou fechamento é controlada pelo CLP com base nos níveis detectados pelo sensor, garantindo que o tanque não transborde ou fique vazio. Associada a isso, o medidor de vazão monitora a quantidade de líquido que entra no tanque, permitindo maior precisão no controle do processo.

Figura 27 - Controle de Nível no Factory IO.

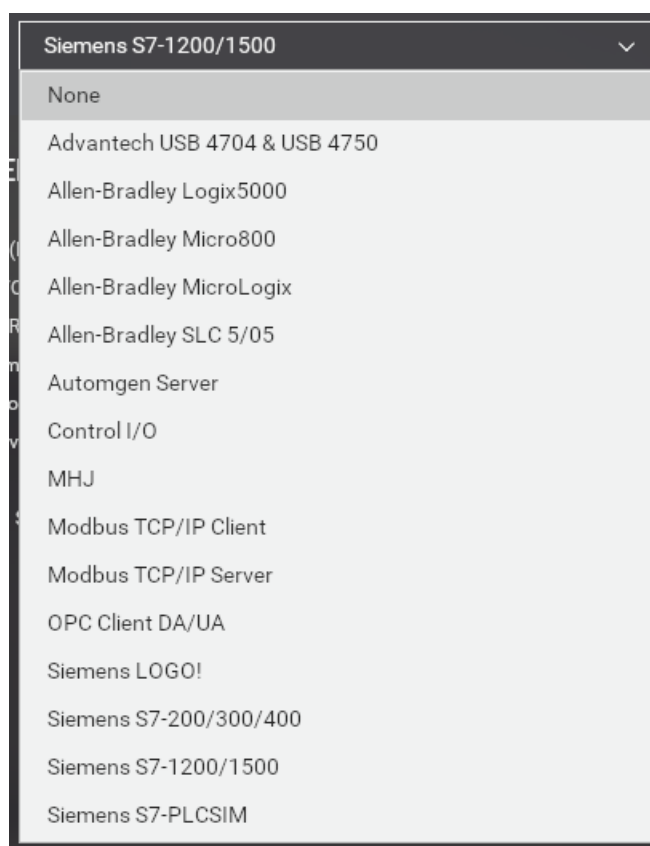


Fonte: Autoria própria.

Para regular a saída do líquido, a cena detém uma válvula de saída, que funciona de maneira semelhante à de alimentação, regulando o escoamento conforme os requisitos do processo. A combinação de válvulas e sensores cria um ciclo contínuo de entrada, armazenamento e saída, simulado para fins de controle e automação.

As configurações no Factory I/O são essenciais para estabelecer a comunicação com o CLP Siemens S7-1500, permitindo o controle do processo simulado. Nas Figuras 28 e 29, apresentam a configuração e conexão com o CLP virtual, o modelo S7-1500 é selecionado para garantir compatibilidade, enquanto o endereço IP 192.168.1.105 identifica o controlador na rede, correspondendo ao configurado no TIA Portal ou no *S7-PLCSIM Advanced*. O uso do adaptador Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter viabiliza a integração com o simulador do CLP, eliminando a necessidade de *hardware* físico.

Figura 28 - Definição do CLP no Factory IO.



Fonte: Autoria própria.

Essas configurações asseguram uma comunicação eficiente e em tempo real, permitindo que sensores e atuadores virtuais troquem dados com o controlador. Assim, o ambiente simulado oferece uma plataforma segura e prática para desenvolvimento e testes, otimizando a validação do sistema de controle.

Figura 29 - Configuração de Comunicação entre Factory I/O e CLP Siemens S7-1500.

PLC

☐ Auto connect

Model

S7-1500

Host

192.168.1.105

Network adapter

Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter

Fonte: Autoria própria.

A Figura 30, exibe um painel de variáveis e endereços utilizados no *software* Factory I/O. O foco está no mapeamento entre as entradas e saídas do sistema, evidenciando o controle de processos industriais por meio de um controlador lógico programável (CLP).

As entradas digitais, identificadas pelos endereços %I, representam sinais de controle discreto. Entre elas, temos %I0.0 (Start), que inicia o processo, %I0.1 (Reset), que reinicia o sistema para um estado inicial, %I0.2 (Stop), responsável por interromper o funcionamento, e %I0.3, que monitora o estado de operação do sistema. Essas variáveis são essenciais para os comandos básicos do processo, garantindo a interação do operador com a planta simulada.

Já as entradas analógicas, mapeadas pelos endereços %ID, permitem a leitura de variáveis contínuas, como o nível do tanque (%ID30 - Level meter), o fluxo de material (%ID34 - Flow meter) e o valor de referência ajustado pelo operador (%ID38 - *Setpoint*). Esses valores são fundamentais para o monitoramento e o controle mais preciso das condições do processo.

Nas saídas, os endereços %Q correspondem a dispositivos digitais de sinalização e atuação, como %Q0.0 (Start light), que acende uma luz indicando que o processo foi iniciado, %Q0.1 (Reset light), para sinalizar que o sistema foi reiniciado, %Q0.2 (Stop light), que mostra que o processo foi parado. Essas variáveis estão diretamente ligadas aos comandos visuais e físicos do sistema.

Por fim, as saídas analógicas, com endereços %QD, são utilizadas para atuar em dispositivos que exigem valores contínuos. Entre elas, destacam-se %QD30, responsável pelo controle da válvula de enchimento (Fill valve), %QD34, que comanda a válvula de descarga (Discharge valve), %QD38, que transmite o valor de referência ajustado (*Setpoint*), e %QD42, que exibe o valor real medido no processo (Process Value). Essas variáveis são essenciais para sistemas que operam com controle proporcional, garantindo precisão e estabilidade no processo.

Figura 30 - Mapeamento de Entradas e Saídas no *Software Factory I/O* para Controle de Processos Industriais.

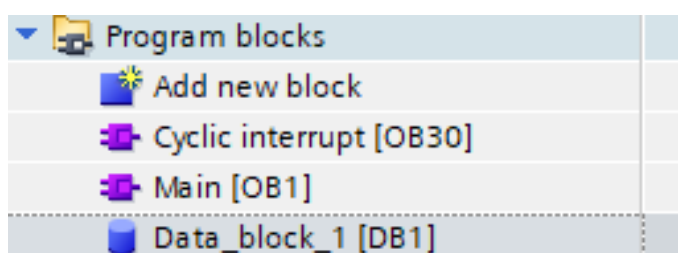
Start	%I0.0	%Q0.0	Start light
Reset	%I0.1	%Q0.1	Reset light
Stop	%I0.2	%Q0.2	Stop light
FACTORY I/O (Running)	%I0.3	(REAL) %QD30	Fill valve
Level meter	%ID30 (REAL)	(REAL) %QD34	Discharge valve
Flow meter	%ID34 (REAL)	(DINT) %QD38	SP
Setpoint	%ID38 (REAL)	(DINT) %QD42	PV

Fonte: Autoria própria.

4.4 SERVIDOR OPC UA APLICADO AO CLP

A integração entre o Node-RED e o Controlador Lógico Programável (CLP) Siemens S7-1500, utilizando o protocolo OPC UA, exige a criação de blocos de dados no TIA Portal. Esses blocos de dados (Data Blocks) servem como repositórios para armazenar e organizar variáveis que serão compartilhadas entre o CLP e sistemas externos, como o Node-RED.

Figura 31 - Data Block de variáveis.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 31, o Data_block_1 [DB1] é um bloco de dados configurado no TIA Portal. Esse bloco possui variáveis declaradas que representam informações do processo, como o nível atual do tanque e o *setpoint* de controle. A variável *Nível_norm*, por exemplo, está associada ao nível do tanque, enquanto *Setpoint_norm* corresponde ao valor de referência definido para o controle. Ambas são declaradas com o tipo de dado Real, permitindo maior precisão no armazenamento de valores decimais, típicos em aplicações de controle de processos.

Figura 32 - Variáveis exportadas para o Node-Red.

Data_block_1				
	Name	Data type	Offset	Start value
1	Static			
2	Nível_norm	Real	0.0	0.0
3	Setpoint_norm	Real	4.0	0.0

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 32, observa-se que cada variável no bloco de dados possui um offset, que define sua posição na memória do bloco, e um valor inicial (start value). Essas informações são essenciais para garantir a correta comunicação dos dados entre o CLP e o OPC UA Server, possibilitando que sistemas como o UAExpert ou o Node-RED acessem os dados de forma estruturada.

No projeto, é necessário realizar uma configuração no controlador que permita que o Node-RED atue como cliente OPC UA, conectando-se ao CLP por meio de um endereço específico, conforme ilustrado na Figura 33. Após estabelecida a conexão, o Node-RED pode acessar as variáveis do CLP, como o nível do tanque e os *setpoints*, e utilizá-las para processamento, visualização em *dashboards* ou redistribuição via MQTT para outros sistemas conectados.

Figura 33 - Servidor OPC UA no CLP.



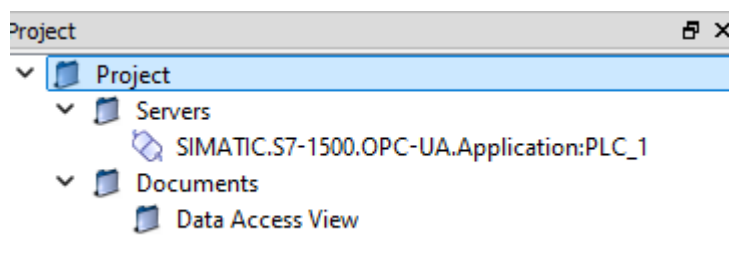
Fonte: Autoria própria.

Para garantir que essa comunicação funcione de maneira eficiente, o UaExpert é uma ferramenta essencial, pois valida a conexão entre o CLP e o Node-RED via OPC UA, assegurando que as variáveis do Data Block (DB) estejam corretamente acessíveis. Nesse processo, o Node ID desempenha um papel fundamental, atuando como um identificador único para cada variável dentro do DB do CLP. No UaExpert, o Node ID é utilizado para localizar e acessar as variáveis específicas, garantindo que o Node-RED consiga interpretar corretamente os dados recebidos. Sem o Node ID, o sistema não seria capaz de distinguir entre as diferentes variáveis, o que comprometeria a precisão na leitura e escrita de dados.

Assim, a criação do Data Block no TIA Portal é uma etapa crítica para estabelecer a interoperabilidade entre o CLP e sistemas de supervisão e controle, permitindo a visualização, registro e manipulação em tempo real dos dados do processo em plataformas externas.

Na Figura 34, é apresentado a árvore de navegação do projeto dentro do ambiente de programação do TIA Portal. Nela, está configurado o servidor OPC UA, identificado como SIMATIC.S7-1500.OPC-UA.Application:PLC_1. Essa configuração indica que o CLP foi habilitado como um servidor OPC UA, permitindo que outros sistemas ou *softwares* clientes, como o UaExpert, possam acessar e consumir os dados disponibilizados pelo CLP.

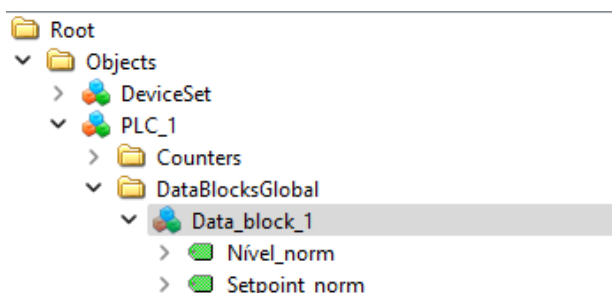
Figura 34 - Software UAExpert.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 35, podemos observar os detalhes da estrutura de dados do CLP acessada via OPC UA. Em destaque, temos o bloco de dados global *Data_block_1*, que contém as variáveis *Nível_norm* e *Setpoint_norm*. Cada uma dessas variáveis possui informações associadas, como endereço (NodeID), tipo de dado e valores atuais, que podem ser lidos ou escritos dependendo da configuração de acesso.

Figura 35 - Dados disponibilizados pelo CLP.



Fonte: Autoria própria.

Essas configurações são fundamentais para estabelecer a comunicação com o UAExpert, que é utilizado para navegar na estrutura OPC UA do CLP. A partir dessa conexão, o *software* é capaz de identificar o NodeID de cada variável exportada. O NodeID é um identificador único que permite que outras aplicações, como o Node-RED, acessem os dados correspondentes de forma precisa.

Após realizar estas etapas, a Figura 26 apresentada exibe a interface do *software* UAExpert, utilizado para explorar e testar conexões OPC UA, destacando os atributos de uma variável específica. Nesse caso, a variável em questão é a “*Nível_norm*”, que pertence ao bloco de dados “*Data_block_1*”. Essa tela fornece informações detalhadas e essenciais para a configuração e validação de um sistema

que utiliza o protocolo OPC UA como meio de comunicação entre dispositivos e *softwares*.

Figura 36 - NodeID da variável Nível_norm.

Attributes	
   	
Attribute	Value
▼ NodeId	ns=3;s="Data_block_1"."Nível_norm"
NamespaceIndex	3
IdentifierType	String
Identifier	"Data_block_1"."Nível_norm"
NodeClass	Variable
BrowseName	3, "Nível_norm"
DisplayName	"" , "Nível_norm"
Description	BadAttributeIdInvalid (0x80350000)
▼ Value	
SourceTimestamp	05/12/2024 09:36:16.848
SourcePicoseconds	0
ServerTimestamp	05/12/2024 09:36:16.848
ServerPicoseconds	0
StatusCode	Good (0x00000000)
Value	85.5184
▼ DataType	Float
NamespaceIndex	0
IdentifierType	Numeric
Identifier	10 [Float]

Fonte: Autoria própria.

Uma das informações mais importantes exibidas na Figura é o NodeID, identificado como ns=3;s="Data_block_1"."Nível_norm". O NodeID é o identificador exclusivo da variável dentro do servidor OPC UA. Essa combinação garante que qualquer cliente OPC UA, como o Node-RED ou sistemas SCADA, consiga localizar e acessar a variável correta no servidor. Sem o NodeID exato, não seria possível estabelecer comunicação ou manipular os dados dessa variável em aplicações.

Outro destaque é o campo Value, que apresenta o valor atual da variável (85.5184), além de incluir informações adicionais, como o StatusCode (Good), que indica que o dado está acessível e em bom estado. Os campos de timestamp, como o SourceTimestamp (05/12/2024, às 09:36:16.848), mostram o momento exato em que o dado foi gerado na fonte, enquanto o ServerTimestamp refere-se ao momento em que o servidor OPC UA recebeu ou processou esse dado. Esses registros temporais são essenciais para monitoramento e análise em tempo real, garantindo

que os dados utilizados em decisões ou ações automáticas sejam atualizados e confiáveis.

O `DataType`, definido como `Float`, especifica que a variável contém valores de ponto flutuante, sendo ideal para representar grandezas contínuas como níveis, temperaturas ou pressões. Essa informação é fundamental para garantir que o cliente OPC UA interprete os dados corretamente, evitando erros de comunicação ou processamento.

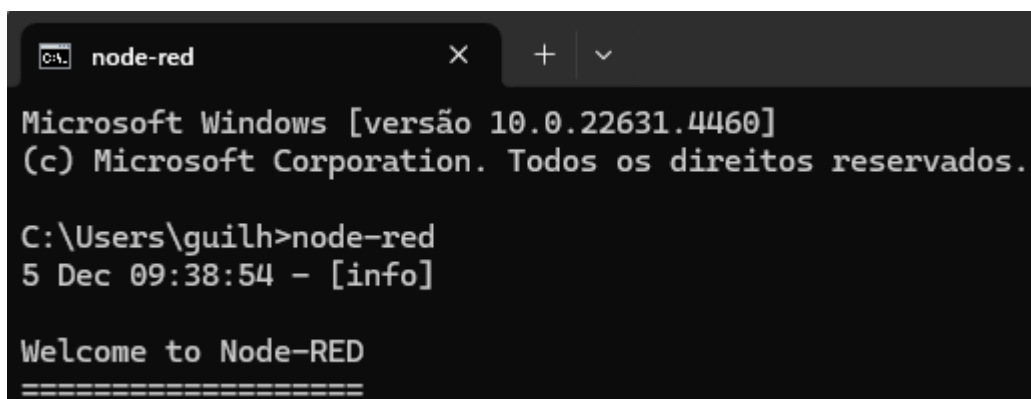
A análise desses atributos no UAExpert é indispensável para validar a configuração do servidor OPC UA e a acessibilidade das variáveis. Informações como o `NodeID`, tipo de dado, timestamps e status do valor garantem a integração confiável entre o servidor e as ferramentas externas, como o Node-RED (para manipulação de dados) e o Grafana (para visualização). Dessa forma, o UAExpert desempenha um papel essencial na implementação e validação de sistemas de monitoramento e controle baseados no protocolo OPC UA.

4.5 INTEGRAÇÃO DE CLP COM O NODE – RED

A integração entre Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e o Node-RED possibilita a coleta, manipulação e envio de dados industriais de maneira eficiente. No caso do protocolo OPC UA, o Node-RED funciona como cliente, conectando-se ao servidor OPC UA do CLP para acessar e processar variáveis configuradas, como valores de sensores e status de equipamentos. Essa comunicação permite que os dados capturados no ambiente industrial sejam integrados a sistemas de monitoramento, armazenados em bancos de dados como o InfluxDB ou visualizados por meio de *dashboards* no Grafana.

A figura 37 demonstra o terminal do Windows com o Node-RED sendo inicializado. O Node-RED é uma plataforma baseada em Node.js que permite criar fluxos para integração de sistemas e automação de processos por meio de uma interface gráfica acessada pelo navegador. Sua utilização é popular em projetos de IoT, automação industrial e processamento de dados.

Figura 37 - Inicialização do Servidor Node-Red.

A screenshot of a Windows terminal window titled 'node-red'. The window shows the standard Windows command prompt text: 'Microsoft Windows [versão 10.0.22631.4460] (c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.' The user has entered the command 'C:\Users\guilh>node-red'. The terminal output shows the date and time '5 Dec 09:38:54 - [info]' followed by 'Welcome to Node-RED' and a line of equals signs '====='.

```
node-red
Microsoft Windows [versão 10.0.22631.4460]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\guilh>node-red
5 Dec 09:38:54 - [info]

Welcome to Node-RED
=====
```

Fonte: Autoria própria.

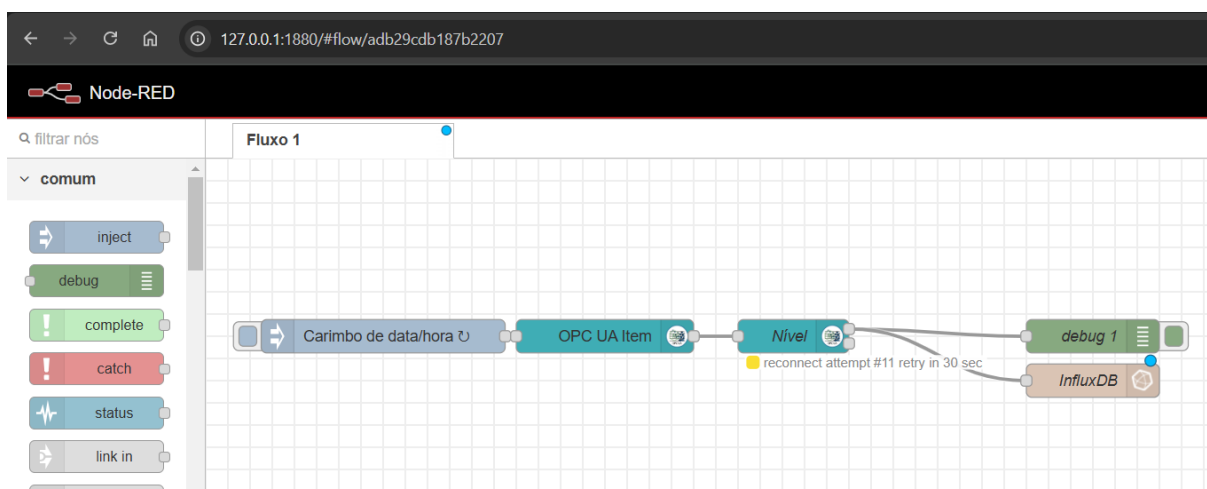
A inicialização do Node-RED é simples e ocorre por meio de um comando no terminal, como exibido na imagem (node-red). Após ser iniciado, o serviço fica disponível localmente (*offline*), permitindo ao usuário acessar a interface *web* pelo navegador, geralmente no endereço padrão <http://localhost:1880>.

O Node-RED pode operar de maneira *offline*, o que significa que sua interface e fluxos podem ser utilizados sem necessidade de conexão com a internet, desde que o ambiente esteja configurado no computador ou servidor local. Essa funcionalidade é vantajosa em cenários industriais, onde a conectividade externa pode ser limitada ou inexistente. No modo *offline*, é possível configurar fluxos, processar dados de dispositivos locais e integrá-los a protocolos industriais, como OPC UA, MQTT ou Modbus.

Além disso, o Node-RED oferece uma interface intuitiva que facilita o desenvolvimento de soluções mesmo sem conhecimento avançado de programação, contribuindo para sua ampla adoção. A capacidade de operar *offline*, aliada à sua versatilidade, o torna uma ferramenta ideal para integração de sistemas em ambientes industriais e de IoT.

O fluxo apresentado na Figura 38 é uma demonstração clara de como integrar diferentes sistemas e tecnologias para monitorar e registrar dados industriais de forma eficiente utilizando o Node-RED. Este fluxo exemplifica a comunicação com um CLP via OPC UA, o processamento e supervisão dos dados localmente e o armazenamento tanto em ambientes *offline* quanto *online*. A seguir, cada componente é descrito de maneira dissertativa, ressaltando sua funcionalidade e importância.

Figura 38 - Fluxo de Integração de Dados com Node-RED e OPC UA.



Fonte: Autoria própria.

A primeira etapa do fluxo é o Carimbo de Data/Hora, que desempenha um papel essencial na rastreabilidade dos dados coletados. Esse nó adiciona a marcação temporal a cada registro de nível de água lido do sistema. Essa informação é fundamental para análises históricas, permitindo correlacionar os valores coletados com os eventos ou condições do processo no momento específico em que foram medidos.

O nó OPC UA Item é o responsável pela leitura dos dados diretamente de um servidor OPC UA, que, por sua vez, está conectado ao CLP que controla o sistema. Ele acessa a variável configurada no servidor (neste caso, o nível de água) por meio de um identificador único (NodeID). Esse nó é um componente essencial para estabelecer a comunicação confiável e em tempo real entre o ambiente de automação e a plataforma de supervisão no Node-RED, garantindo que os dados do processo sejam lidos e processados com precisão.

Em seguida, o nó denominado Nível processa os dados recebidos do servidor OPC UA. Ele atua como um ponto central no fluxo, distribuindo o valor do nível de água para diferentes partes do sistema, como a supervisão em tempo real, o armazenamento e o *debug*. Esse nó é configurado para realizar a leitura contínua, assegurando que os dados sejam sempre atualizados e enviados para os próximos estágios do fluxo.

Os nós de *Debug* têm como objetivo validar os dados durante o desenvolvimento e monitoramento do fluxo. Eles exibem as informações do nível de água diretamente no ambiente do Node-RED, permitindo verificar se o sistema está funcionando corretamente e se os valores recebidos correspondem aos esperados. Essa etapa é especialmente útil para identificar e corrigir possíveis inconsistências no fluxo.

Na etapa de armazenamento, o nó InfluxDB armazena os dados em um banco de dados na nuvem, permitindo o acesso remoto às informações e a integração com ferramentas avançadas de visualização, como o Grafana.

De forma geral, o fluxo exemplifica uma integração eficiente entre coleta, supervisão e armazenamento de dados em um ambiente industrial. Ele demonstra como o Node-RED, aliado ao protocolo OPC UA e ao InfluxDB, pode oferecer uma solução escalável, confiável e acessível para monitorar e gerenciar processos industriais, garantindo rastreabilidade, flexibilidade e eficiência no tratamento das informações coletadas.

A Figura 39 apresentada, ilustra a configuração de um nó do tipo OpcUa-Item no ambiente Node-RED, usado para estabelecer a comunicação com servidores OPC UA. Esse nó permite acessar variáveis específicas do servidor, sendo configurado para leitura ou escrita de valores de forma precisa e eficiente. Os campos destacados, Item e Type, desempenham papéis cruciais na definição e interpretação dos dados que serão manipulados.

Figura 39 - Configuração do Nó OPC UA no Node-RED.

Fonte: Autoria própria.

Outro aspecto importante da configuração é o campo **Type**, que define o tipo de dado da variável no servidor OPC UA. No exemplo, o tipo especificado é **Float**, que corresponde a valores numéricos de ponto flutuante, frequentemente usados para representar medidas contínuas, como níveis, temperaturas e pressões. Essa definição assegura que o Node-RED interprete os valores lidos de forma adequada, evitando erros de tipo que poderiam comprometer o funcionamento do fluxo ou gerar inconsistências nos dados processados.

A configuração correta desses campos é fundamental para a integração eficaz entre o Node-RED e o servidor OPC UA. O campo **Item** garante que a variável desejada seja identificada com precisão, enquanto o campo **Type** assegura que o dado seja tratado de acordo com suas características.

4.6 ARMAZENAMENTO EM NUVEM COM INFLUXDB

A utilização do InfluxDB *Cloud* requer uma compreensão clara de como os dados de séries temporais são estruturados e armazenados na plataforma. O modelo de dados do InfluxDB é projetado para otimizar a organização eficiente desses dados, sendo baseado em conceitos como *buckets*, medições, tags, campos e timestamps.

Cada um desses elementos desempenha um papel fundamental na estruturação e no gerenciamento das informações, garantindo que os dados sejam armazenados de maneira lógica e acessíveis para consultas e análises.

O *bucket* é o local nomeado onde os dados de séries temporais são armazenados. Ele funciona como um contêiner lógico que pode abrigar múltiplas medições. A escolha de um *bucket* adequado é crucial, pois ele define o escopo de armazenamento e organização dos dados. Por exemplo, em um sistema de monitoramento industrial, é possível criar *buckets* específicos para diferentes tipos de dados, como níveis de líquido, temperatura ou pressão. Essa segmentação facilita a gestão e a recuperação das informações, especialmente em cenários com grandes volumes de dados.

Dentro de um *bucket*, os dados são organizados em medições, que representam agrupamentos lógicos de séries temporais relacionadas. Por exemplo, em um sistema de monitoramento ambiental, uma medição pode ser criada para armazenar dados de temperatura, enquanto outra pode ser dedicada à umidade. Todos os pontos de dados dentro de uma mesma medição compartilham as mesmas tags, o que facilita a filtragem e a consulta dos dados. As medições são, portanto, a base para a organização dos dados em um contexto específico.

As tags são pares de chave-valor que armazenam metadados sobre os pontos de dados. Elas são usadas para identificar a origem ou o contexto das informações, como o nome do sensor, a localização geográfica ou o tipo de equipamento.

Enquanto as tags armazenam metadados estáticos, os campos contêm os valores dinâmicos que mudam ao longo do tempo. Eles representam as medições reais, como temperatura, pressão, nível de líquido ou qualquer outra métrica que seja monitorada. Por exemplo, em uma medição de temperatura, os campos podem incluir "temperatura=25.3" ou "umidade=60.5".

O timestamp é um elemento essencial no modelo de dados do InfluxDB, pois define o momento exato em que os dados foram coletados. Todas as séries temporais são ordenadas por timestamp, tanto durante o armazenamento quanto durante a recuperação. Essa ordenação cronológica é fundamental para garantir a precisão das análises e a correlação de eventos ao longo do tempo. Por exemplo, conforme é apresentado na Figura 40, em um sistema de monitoramento industrial, o timestamp

permite identificar quando um determinado evento ocorreu, como um pico de temperatura ou uma queda no nível de líquido.

Figura 40 - Exemplo de resultados de consulta do InfluxDB.

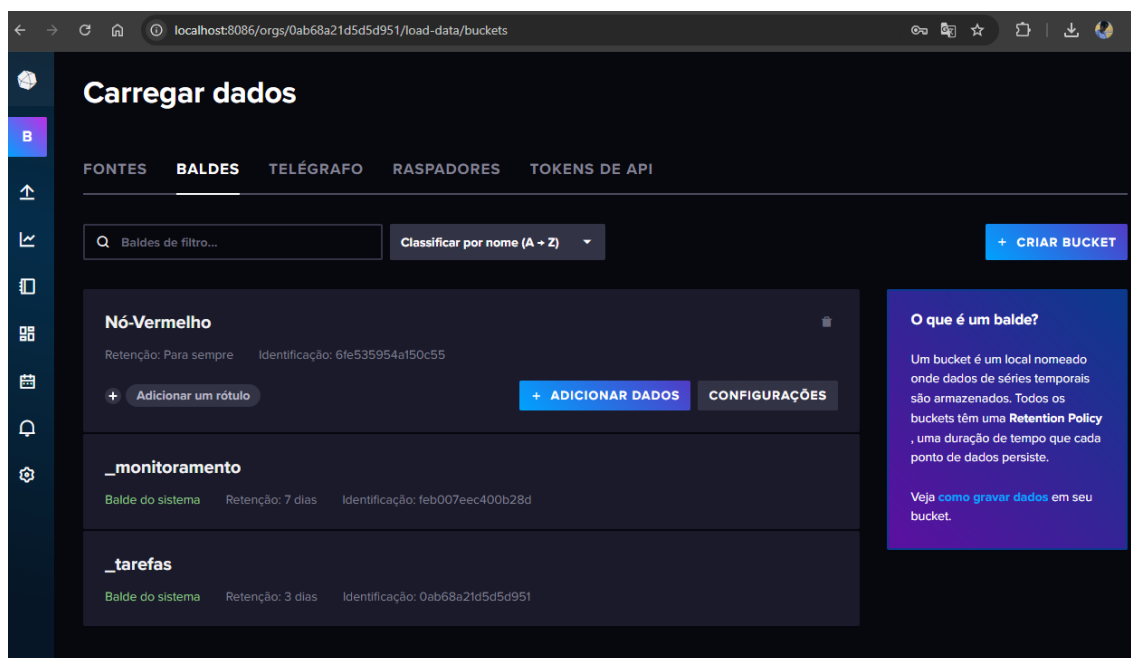
_tempo	_medição	cidade	país	_campo	_valor	
2022-01-01T12:00:00Z	clima	Londres	Reino Unido	temperatura	12.0	Series
2022-02-01T12:00:00Z	clima	Londres	Reino Unido	temperatura	12.1	
2022-03-01T12:00:00Z	clima	Londres	Reino Unido	temperatura	11,5	Point
2022-04-01T12:00:00Z	clima	Londres	Reino Unido	temperatura	5.9	

Fonte: Adaptado de docs.influxdata.com (2024).

A Figura 41 ilustra a interface do InfluxDB, mais especificamente a seção dedicada à gestão de baldes, que são os espaços de armazenamento de dados em séries temporais. Os baldes desempenham um papel fundamental na organização e no gerenciamento dos dados dentro do banco, permitindo que diferentes tipos de informações sejam armazenados com configurações específicas, como o período de retenção.

A criação de baldes no InfluxDB é uma prática essencial para assegurar que os dados sejam organizados de maneira eficiente e que diferentes tipos de informações possam ser armazenados com políticas de retenção adequadas. Além disso, cada balde pode receber rótulos ou passar por configurações avançadas, como mostrado na imagem, garantindo flexibilidade no uso e integração com diversas aplicações.

Figura 41 – Gestão de baldes no InfluxDB.



Fonte: Autoria própria.

O processo de integração entre o Node-RED e o InfluxDB exige uma configuração detalhada para garantir uma comunicação eficiente e segura. As imagens apresentadas ilustram os parâmetros necessários para estabelecer essa conexão, abrangendo as definições do nó de saída (InfluxDB Out) e do servidor utilizado.

Na figura 42, mostra os campos essenciais para configurar a saída de dados do Node-RED para o banco de dados InfluxDB. O campo Name identifica o nó dentro do fluxo, sendo aqui denominado *InfluxDB-Online*, permitindo facilmente reconhecimento em projetos maiores.

O campo Server faz referência ao servidor configurado, que no exemplo é [v2.0] *Influx-Online*. Já o campo Organization especifica o nome da organização associada ao InfluxDB, neste caso, Guilherme Rezende Pereira Camargo.

Esse campo é obrigatório na versão 2.0 do InfluxDB, pois organiza os dados de diferentes usuários. O campo *Bucket* indica o destino dos dados no banco, aqui chamado Influx-Grafana, utilizado para armazenar as medições. Além disso, o campo Measurement categoriza os dados enviados, sendo nomeado como *Nível* neste caso, permitindo uma organização lógica no banco de dados.

Por fim, o campo Time Precision define a granularidade temporal dos dados armazenados, configurada como Milliseconds (ms), o que garante alta precisão temporal para séries de dados.

Figura 42 - Configuração Geral do Nó de Saída (InfluxDB Out).

A interface de configuração para o nó de saída InfluxDB Out. O título da janela é "Editar influxdb out nó". No topo, há três botões: "Deletar", "Cancelar" e "Feito". Abaixo, há uma seção "Propriedades" com ícones de configuração, documento e visualização. Os campos de configuração são:

- Nome:** InfluxDB-Online
- Server:** [v2.0] Influx-Online (com ícones de edição e adição)
- Organization:** Guilherme Rezende Pereira Camargo
- Bucket:** Influx-Grafana
- Measurement:** Nível
- Time Precision:** Milliseconds (ms) (com seta para baixo)

Fonte: Autoria própria.

A Figura 43, chamada "Configuração do Servidor no Nó de Saída", detalha os parâmetros necessários para a comunicação com o servidor InfluxDB. O campo Name identifica o servidor configurado, nomeado como "Influx-Online" no exemplo, facilitando a diferenciação entre servidores em sistemas mais complexos. A versão do InfluxDB é especificada como 2.0, que adota autenticação por token para maior segurança. O campo URL apresenta o endereço do servidor, configurado para um ambiente em nuvem hospedado pela InfluxData, utilizando o endereço `https://us-east-1-1.aws.Cloud2.influxdata.com`. O Token é um elemento crucial para validar e autorizar a comunicação com o banco, sendo essencial na versão 2.0 para proteger o acesso aos dados.

Figura 43 - Configuração do Servidor no Nó de Saída.

The image shows the configuration window for the 'InfluxDB Out' node in Node-RED. The title bar reads 'Editar influxdb out nó > Editar influxdb nó'. At the top, there are three buttons: 'Excluir' (grey), 'Cancelar' (white), and 'Atualizar' (red). Below these is a tab labeled 'Propriedades' with a gear icon. The configuration fields are as follows:

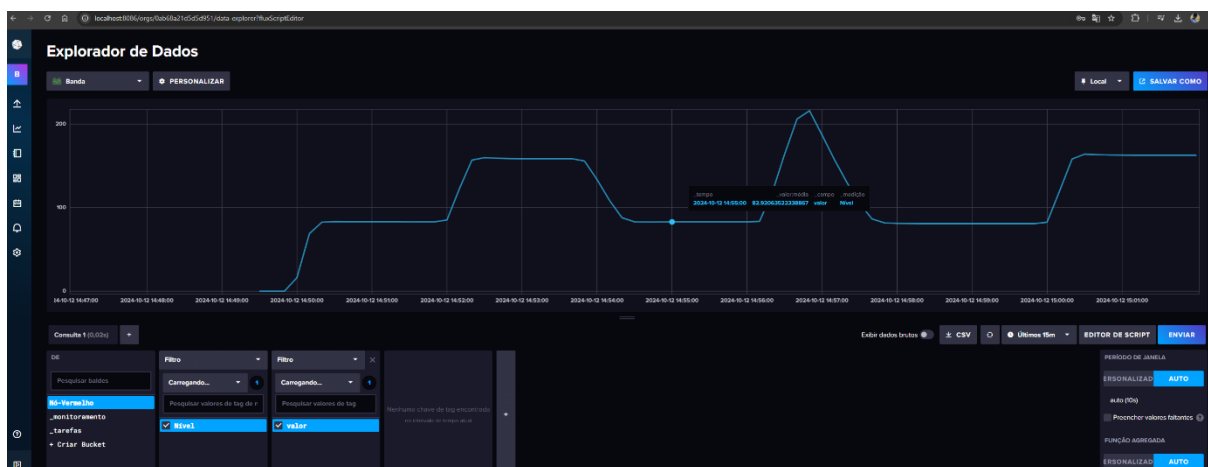
- Nome:** Influx-Online
- Version:** 2.0 (dropdown menu)
- URL:** https://us-east-1-1.aws.cloud2.influxdata.com
- Token:** A text field containing masked characters (dots).
- Connection timeout (seconds):** 10
- Verify server certificate:** A checked checkbox.

Fonte: Autoria própria.

Essas configurações possibilitam que o fluxo no Node-RED envie dados estruturados e protegidos para o InfluxDB. A interação entre o nó InfluxDB Out e o servidor configura uma base sólida para armazenar séries temporais, como medições de nível, e integrar os dados com ferramentas como o Grafana para visualização. A presença do Token destaca-se como uma medida de segurança essencial, enquanto os campos *Bucket* e *Measurement* organizam os dados de maneira eficiente. A precisão temporal configura o nível de detalhamento necessário para análises mais aprofundadas, tornando o sistema robusto e confiável. Essas imagens e explicações refletem como a integração entre o Node-RED e o InfluxDB pode ser realizada de forma eficiente e alinhada às melhores práticas.

A Figura 44, apresenta a interface do Explorador de Dados do InfluxDB, ferramenta essencial para visualizar e analisar séries temporais armazenadas no banco de dados. Esse ambiente permite que o usuário consulte os dados registrados de maneira dinâmica, facilitando a inspeção de tendências e variações ao longo do tempo.

Figura 44 - Exploração de Dados no InfluxDB.

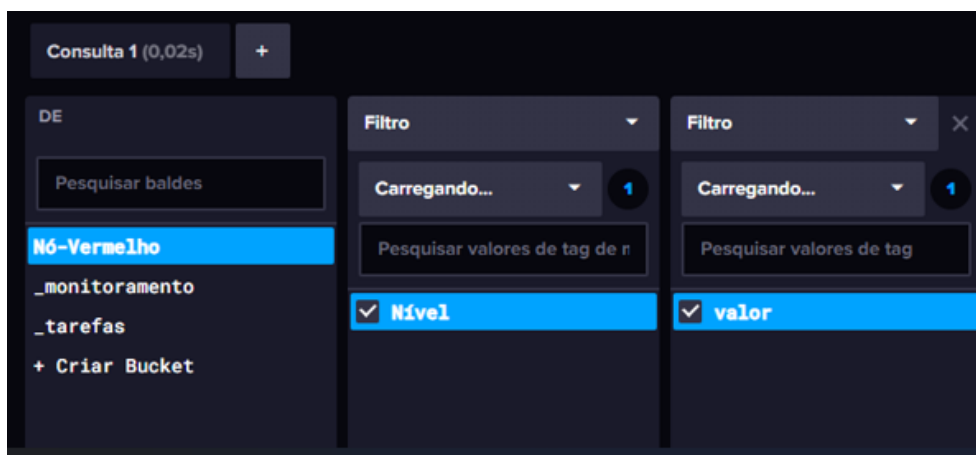


Fonte: Autoria própria.

Na parte inferior da tela, o campo de pesquisa é estruturado para que o usuário possa filtrar informações com base em diferentes parâmetros. O primeiro campo, *Bucket*, define a origem dos dados, ou seja, o local onde as medições estão armazenadas.

Essa separação por *buckets* é útil para organização e gerenciamento eficiente dos dados. Em seguida, os campos Campos e Tags permitem refinar ainda mais a pesquisa, selecionando medições específicas ou filtrando dados por categorias associadas. Essa abordagem possibilita uma análise mais segmentada, útil para identificar padrões em diferentes variáveis monitoradas, conforme apresentado na Figura.

Figura 45 – Campos e Tags no InfluxDB.



Fonte: Autoria própria.

O gráfico exibido na Figura 46, representa a evolução temporal dos dados selecionados. O cursor interativo permite visualizar pontos específicos no tempo, exibindo valores exatos e timestamps correspondentes.

Figura 46 – Evolução temporal de dados no InfluxDB.



Fonte: Autoria própria.

Esse recurso é fundamental para diagnósticos detalhados e monitoramento em tempo real. Além disso, a interface fornece opções para exportação e ajustes nos intervalos de tempo analisados, permitindo que o usuário adapte a visualização conforme suas necessidades.

Em resumo, o campo de pesquisa do InfluxDB no Explorador de Dados proporciona uma maneira intuitiva e flexível de acessar informações armazenadas. Ele permite a organização por *buckets*, filtragem por medições e tags, além da visualização gráfica interativa, tornando o processo de análise de séries temporais eficiente e acessível.

4.7 DESENVOLVIMENTO DO SUPERVISÓRIO ONLINE

A utilização do Grafana *Cloud* no sistema proposto, pode representar um grande avanço no monitoramento e na supervisão. Essa plataforma baseada em nuvem permite a visualização, análise e geração de alertas em tempo real, complementando as funcionalidades do Node-RED e ampliando as possibilidades de gestão do sistema.

A primeira grande vantagem do Grafana *Cloud* é a visualização avançada de dados. Embora o Node-RED seja uma ferramenta eficiente para a criação de fluxos de comunicação e *dashboards* básicos, o Grafana *Cloud* oferece uma interface mais robusta e sofisticada, permitindo a construção de *dashboards* interativos e altamente personalizáveis. Com ele, é possível representar graficamente informações detalhadas sobre os níveis de líquido, criando visualizações dinâmicas que facilitam a análise do comportamento do sistema ao longo do tempo.

O armazenamento e a análise de dados históricos também são facilitados pelo Grafana *Cloud*. Diferente do Node-RED, que apresenta limitações nesse aspecto, o Grafana permite registrar grandes volumes de informações ao longo do tempo, possibilitando a identificação de padrões e tendências. Essa análise retrospectiva pode ser utilizada para otimizar o controle do sistema, implementar estratégias de manutenção preditiva e evitar falhas que comprometam a eficiência operacional.

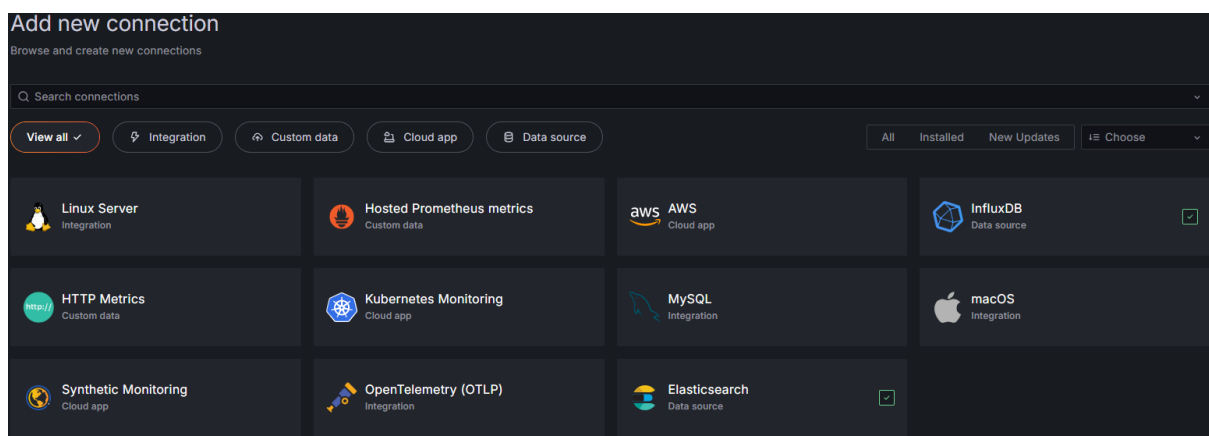
Por ser uma plataforma em nuvem, os *dashboards* podem ser acessados de qualquer dispositivo conectado à internet, facilitando o monitoramento por parte de operadores e gestores, mesmo que estejam fora do ambiente fabril. Essa flexibilidade é essencial para aplicações que exigem supervisão contínua e resposta ágil a variações no processo.

A integração entre o InfluxDB e o Grafana *Cloud* é essencial para a visualização e análise de dados em tempo real, permitindo um monitoramento eficiente de processos industriais. Para estabelecer essa conexão, é necessário configurar corretamente diversos parâmetros dentro do Grafana. A seguir, são descritos os campos apresentados nas imagens, separados em três seções: adição da fonte de dados, configuração HTTP e detalhes do banco de dados.

A primeira etapa do processo consiste em adicionar uma nova conexão ao Grafana, onde diferentes tipos de fontes de dados podem ser selecionados. Na

interface apresentada pela Figura 47, são exibidas diversas opções de integração, incluindo Linux Server, MySQL, Elasticsearch, Kubernetes Monitoring, entre outras. Para conectar o Grafana ao banco de dados, é necessário selecionar o InfluxDB, que aparece listado como uma opção de Data Source (Fonte de Dados). Esse procedimento garante que os dados armazenados no InfluxDB possam ser acessados e utilizados na construção de *dashboards* interativos dentro do Grafana.

Figura 47 - Adição de fonte de dados do Grafana.



Fonte: Autoria própria.

A seleção do InfluxDB como fonte de dados é apenas o primeiro passo para integrá-lo ao Grafana. Após essa escolha, é necessário configurar a conexão HTTP, um processo que envolve a definição de parâmetros essenciais para garantir a comunicação eficiente e segura entre as duas plataformas.

O primeiro parâmetro a ser configurado é a URL, que contém o endereço da instância do InfluxDB. No caso em questão, a URL refere-se a um servidor hospedado na AWS (*AMAZON WEB SERVICES*), um dos principais provedores de computação em nuvem. Esse endereço é fundamental, pois é através dele que o Grafana estabelece a conexão com o banco de dados remoto. Sem a URL correta, a comunicação entre as plataformas seria inviabilizada, impedindo a recuperação e visualização dos dados, conforme representado na Figura 48.

Figura 48 - Configuração HTTP no Grafana.

HTTP		
URL	ⓘ	https://us-east-1-1.aws.cloud2.influxdata.c...
Allowed cookies	ⓘ	New tag (enter key to add) Add
Timeout	ⓘ	Timeout in seconds

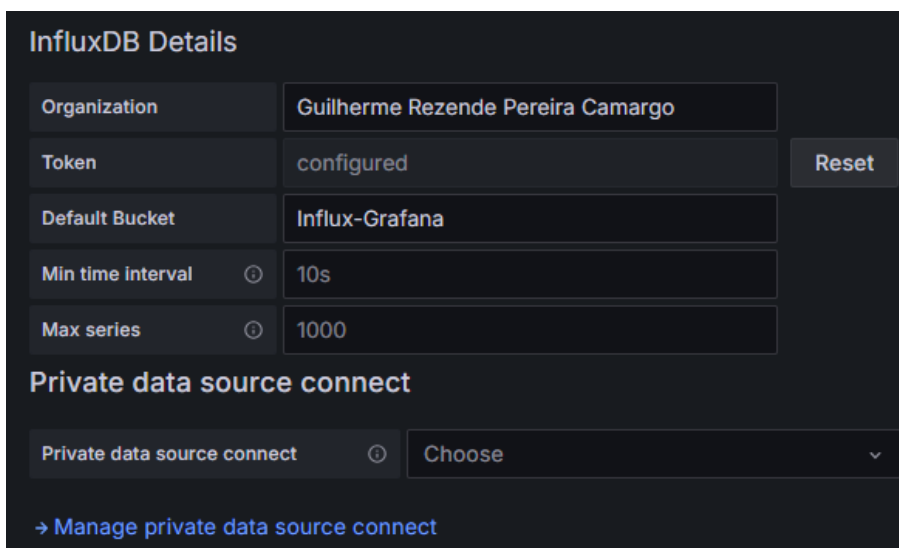
Fonte: Autoria própria.

Outro parâmetro relevante é o Allowed Cookies, que permite a inclusão de cookies necessários para autenticação ou outras funcionalidades específicas do servidor. No entanto, no contexto dessa integração entre InfluxDB e Grafana, geralmente não há necessidade de configurar cookies adicionais, uma vez que a autenticação é realizada por meio de tokens, como será detalhado adiante.

O Timeout também é um campo importante, pois define o tempo máximo que o Grafana aguardará por uma resposta do servidor InfluxDB. Caso esse tempo seja excedido sem que haja uma resposta, a conexão é considerada falha. Esse parâmetro é especialmente útil para evitar que o sistema fique travado ou indisponível em situações em que o banco de dados esteja temporariamente inacessível. Assim, o Timeout atua como uma medida de proteção, garantindo a estabilidade do sistema.

Após a configuração da conexão HTTP, é necessário realizar as configurações a próxima etapa envolve a definição dos parâmetros específicos do banco de dados, conforme apresenta na Figura 49. Esses parâmetros são cruciais para que o Grafana possa recuperar e organizar as séries temporais de maneira eficiente. Um dos campos mais importantes é a Organization (Organização), que representa o nome da conta utilizada para gerenciar os dados dentro do InfluxDB. Esse campo define o contexto em que os dados serão armazenados e acessados, servindo como uma forma de organizar e segregar informações dentro da plataforma.

Figura 49 - Parâmetros de configuração ao Banco de Dados.



The image shows a dark-themed configuration panel titled "InfluxDB Details". It contains several input fields and a "Reset" button. The fields are: "Organization" with the value "Guilherme Rezende Pereira Camargo", "Token" with the value "configured", "Default Bucket" with the value "Influx-Grafana", "Min time interval" with the value "10s", and "Max series" with the value "1000". Below these fields is a section titled "Private data source connect" which includes a "Private data source connect" label and a "Choose" dropdown menu. At the bottom of the panel is a link that says "→ Manage private data source connect".

Field	Value
Organization	Guilherme Rezende Pereira Camargo
Token	configured
Default Bucket	Influx-Grafana
Min time interval	10s
Max series	1000

Private data source connect

Private data source connect Choose

→ Manage private data source connect

Fonte: Autoria própria.

Outro elemento essencial é o Token, um código de segurança gerado no InfluxDB que garante o acesso autorizado aos dados. Esse token deve ser inserido corretamente no Grafana para validar a conexão entre as plataformas. Sem ele, a comunicação seria bloqueada, impedindo a recuperação das séries temporais. A utilização de tokens é uma prática comum em sistemas modernos, pois oferece uma camada adicional de segurança, protegendo os dados contra acessos não autorizados.

O Default *Bucket* (*Bucket* Padrão) também desempenha um papel fundamental na configuração. Um *bucket* é uma unidade lógica dentro do InfluxDB onde os dados são armazenados. No exemplo citado, o *bucket* utilizado chama-se "Influx-Grafana", sendo o local onde as séries temporais ficarão disponíveis para consulta. A escolha do *bucket* correto é essencial para garantir que os dados sejam armazenados e recuperados de maneira organizada, facilitando a análise e o monitoramento.

Além disso, o campo Min Time Interval (Intervalo Mínimo de Tempo) define o menor intervalo de tempo entre as medições que podem ser recuperadas do banco de dados. No exemplo apresentado, o intervalo mínimo é de 10 segundos, o que significa que o sistema não realizará consultas com uma granularidade menor do que esse período. Esse parâmetro é importante para otimizar o desempenho do sistema, evitando consultas excessivas que poderiam sobrecarregar o banco de dados e degradar a eficiência do processo.

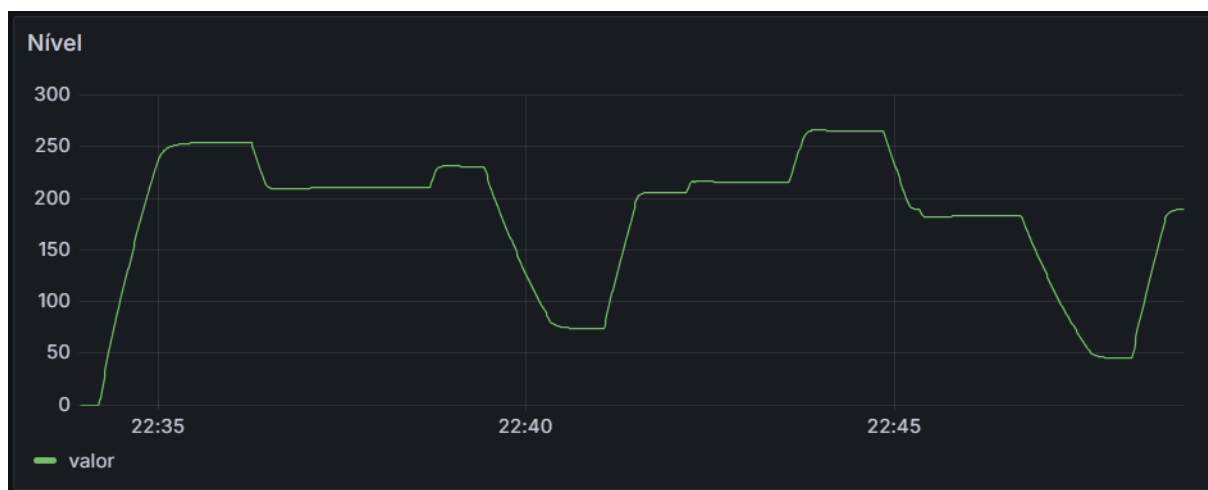
Por fim, o campo Max Series (Máximo de Séries) estabelece um limite para o número de séries temporais que podem ser armazenadas e consultadas pelo Grafana. No caso em questão, o valor definido é 1000, o que impede que um volume excessivo de medições sobrecarregue o sistema. Esse limite é uma medida de controle que ajuda a manter o desempenho da plataforma, garantindo que as consultas sejam realizadas de forma ágil e eficiente.

Em resumo, a configuração da conexão entre o InfluxDB e o Grafana envolve uma série de parâmetros que, quando definidos corretamente, garantem a comunicação eficiente, segura e organizada entre as duas plataformas. Desde a URL e o Timeout, que estabelecem a base da conexão, até os campos específicos como Organization, Token, Default *Bucket*, Min Time Interval e Max Series, cada elemento desempenha um papel crucial no sucesso da integração.

Com a configuração concluída, o sistema está pronto para a criação do *dashboard* no Grafana, permitindo a visualização dos dados armazenados no InfluxDB. A interface do Grafana possibilita a construção de painéis interativos, onde os dados podem ser representados de forma clara e intuitiva.

A Figura 50 ilustra a interface apresentada no Grafana, onde exibe um gráfico de linha que representa a evolução do nível ao longo do tempo. A escala do eixo Y indica os valores medidos, enquanto o eixo X corresponde à linha temporal, possibilitando a identificação de padrões e oscilações. Além disso, a frequência de atualização da tela pode ser configurada para garantir a exibição dos dados mais recentes, como no exemplo mostrado, onde as medições são atualizadas a cada cinco segundos. Essa atualização contínua assegura que operadores e engenheiros possam reagir rapidamente a qualquer variação inesperada.

Figura 50 - Painel de Monitoramento de Nível no Grafana.



Fonte: Autoria própria.

Dentre os benefícios proporcionados por esse tipo de painel, destaca-se a capacidade de detecção precoce de alterações nos processos, o que pode indicar falhas operacionais ou necessidade de ajustes no sistema. Além disso, a possibilidade de personalização dos parâmetros do painel permite adaptar a visualização às necessidades específicas de cada aplicação, definindo intervalos de tempo e escalas apropriadas.

Portanto, a configuração adequada de um painel de monitoramento no Grafana representa um avanço significativo na gestão de processos industriais. A análise contínua das informações coletadas contribui para a otimização do desempenho operacional, minimizando riscos e aumentando a confiabilidade dos sistemas.

4.8 INTEGRAÇÃO ENTRE CONTROLADOR E MICROCONTROLADOR

A evolução da Indústria 4.0 tem impulsionado a necessidade de integração entre diferentes tecnologias para otimizar processos industriais, reduzir custos e aumentar a flexibilidade das soluções de automação. Nesse contexto, a interoperabilidade entre dispositivos de baixo custo e equipamentos industriais de alto desempenho torna-se um fator estratégico para ampliar a acessibilidade e a eficiência dos sistemas.

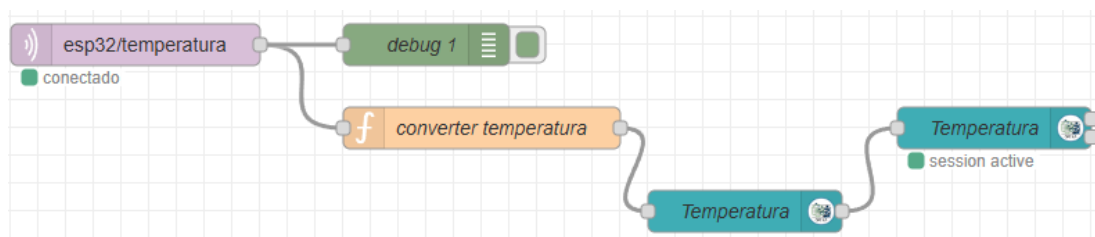
Este capítulo tem como objetivo avaliar a viabilidade da integração entre microcontroladores *ESP8266* e Controladores Lógicos Programáveis (CLPs),

especificamente um Siemens S7-1500, utilizando o Node-RED como ferramenta de intermediação para comunicação e processamento de dados. A abordagem busca explorar como essa conexão pode ser realizada de forma confiável, permitindo a troca de informações em tempo real e possibilitando aplicações voltadas para monitoramento e controle remoto.

A pesquisa adota uma metodologia descritiva e experimental, analisando os desafios e benefícios da interoperabilidade entre esses dispositivos. A proposta visa demonstrar que, além de tecnicamente viável, essa integração pode oferecer vantagens significativas, como redução de custos operacionais, maior flexibilidade na implementação e acessibilidade para diferentes segmentos da indústria. Dessa forma, este estudo contribui para a compreensão e aplicação de soluções inovadoras dentro do cenário da Automação Industrial e da Indústria 4.0.

A Figura 51 retrata o fluxo de dados configurado no Node-RED. O nó inicial, identificado como esp32/temperatura, representa a assinatura do tópico MQTT no qual os valores de temperatura, medidos pelo ESP32, são publicados. Esses dados passam por um nó de depuração (debug 1), que permite visualizar as informações recebidas em tempo real. Em seguida, um nó de função (converter temperatura) pode estar realizando alguma conversão ou tratamento nos dados antes de serem enviados ao nó OPC UA, que se comunica diretamente com o CLP Siemens. Esse fluxo evidencia a capacidade do Node-RED em intermediar a comunicação entre dispositivos IoT e sistemas industriais.

Figura 51 - Fluxo de Dados no Node-RED.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 52 exibe a saída do nó de depuração no Node-RED, confirmando que os valores de temperatura estão sendo recebidos corretamente no formato numérico. O valor registrado, 32.8, aparece repetidamente, indicando que o sensor está

operando dentro da normalidade e que a comunicação entre o ESP32 e o broker MQTT está estabelecida sem falhas.

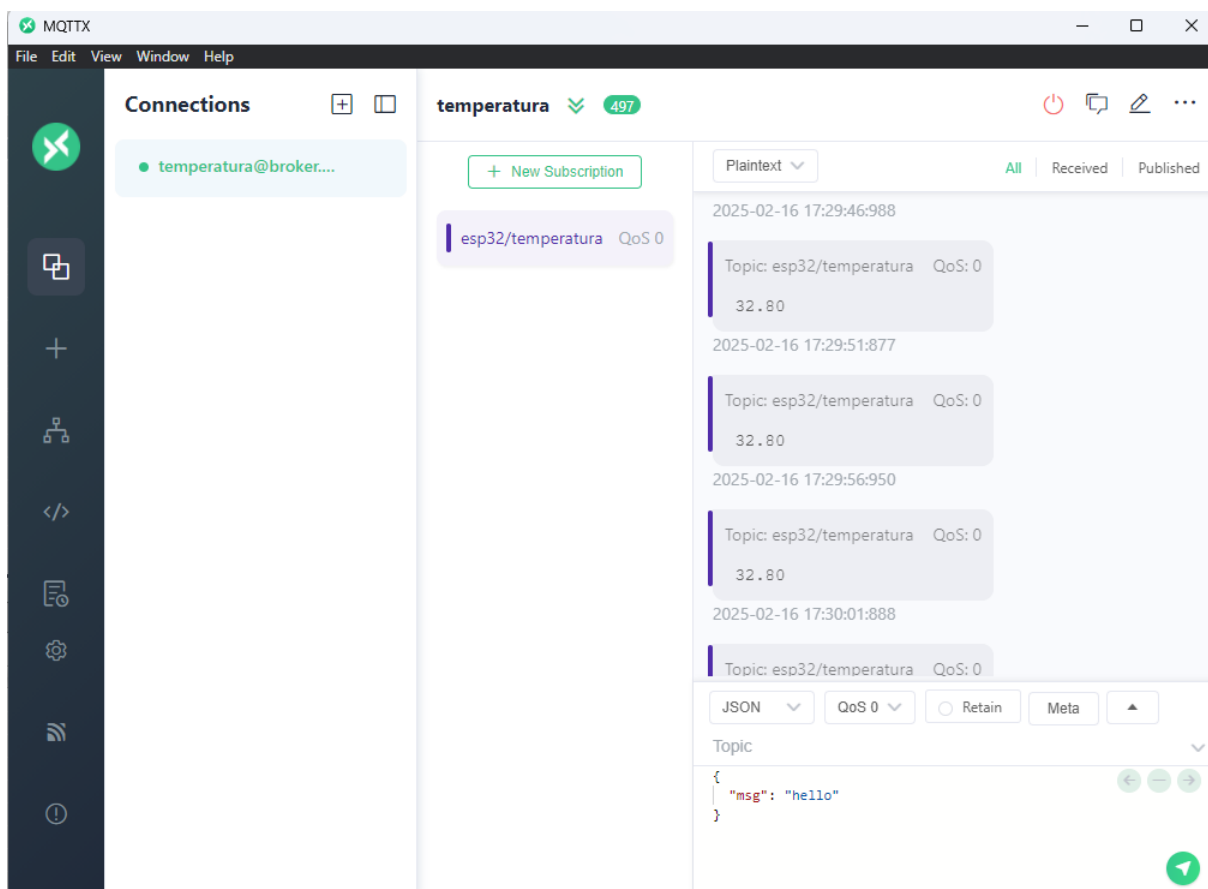
Figura 52 - Saída do Debug no Node-RED.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 53 apresenta a interface do cliente MQTTX, utilizado para monitorar a transmissão de mensagens no broker. Nela, é possível observar que o tópico esp32/temperatura está recebendo valores constantes de temperatura, todos em torno de 32.8. O uso do MQTTX permite validar que os dados estão sendo enviados corretamente pelo ESP32 e disponibilizados no broker, prontos para serem consumidos pelo Node-RED e, posteriormente, transmitidos ao CLP Siemens.

Figura 53 - Monitoramento MQTT no MQTTX.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 54 apresentada mostra o Monitor Serial da IDE do Arduino, evidenciando a comunicação do ESP32 com um broker MQTT e a transmissão de dados provenientes do sensor DHT11. Esse monitor permite acompanhar em tempo real as mensagens enviadas e recebidas pelo microcontrolador, facilitando a depuração e análise do funcionamento do sistema.

No log apresentado, observa-se que o ESP32 realiza leituras periódicas da temperatura ambiente, obtendo o valor de 32.80°C, que é então exibido no monitor serial e publicado no tópico "esp32/temperatura" do broker MQTT configurado. Além disso, nota-se que o próprio ESP32 está inscrito nesse mesmo tópico, permitindo que ele receba de volta a mensagem enviada, o que confirma que a comunicação MQTT está operando corretamente.

Figura 54 - Serial Monitor do ESP32.

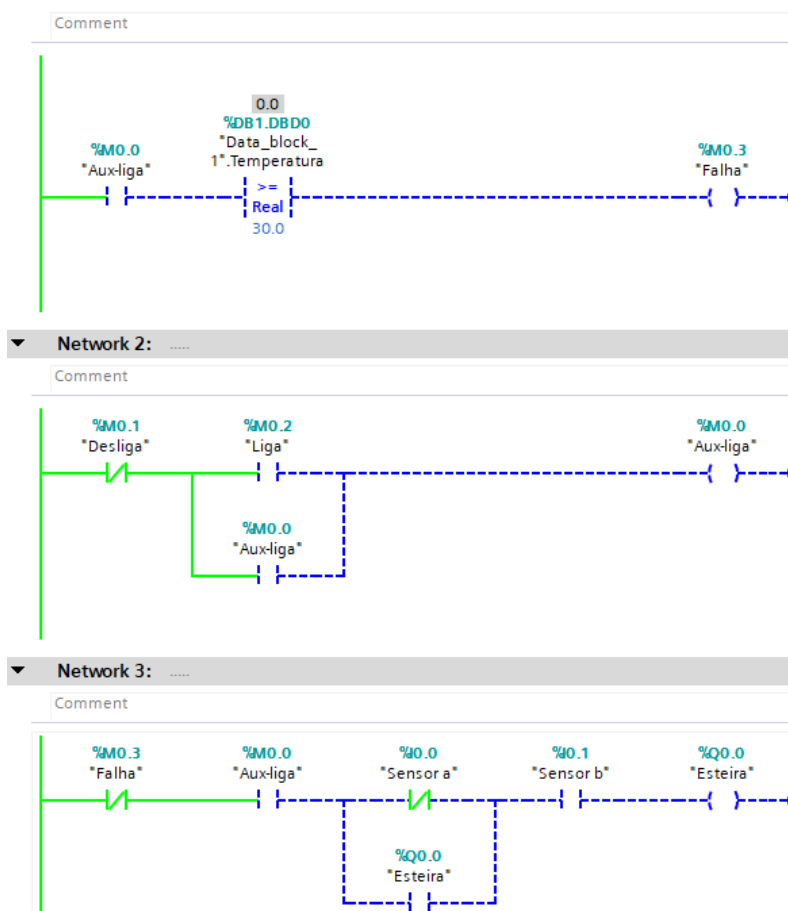


```
Output  Serial Monitor  X
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM5')
17:34:03.043 -> Mensagem: 32.80
17:34:03.043 -> -----
17:34:08.076 -> Temperatura: 32.80°C
17:34:08.076 -> Mensagem recebida no tópico: esp32/temperatura
17:34:08.076 -> Mensagem: 32.80
17:34:08.076 -> -----
17:34:13.062 -> Temperatura: 32.80°C
17:34:13.105 -> Mensagem recebida no tópico: esp32/temperatura
17:34:13.105 -> Mensagem: 32.80
17:34:13.105 -> -----
```

Fonte: Autoria própria.

Na Network 1 de acordo com a Figura 55, o programa recebe o valor de temperatura, lido pelo DHT11 e transmitido pelo ESP32, armazenando essa informação na variável DB1.DBD0. Esse dado é comparado com um limite predefinido de 30°C. Caso a temperatura medida atinja ou ultrapasse esse valor, a saída %M0.3 (Falha) é acionada. Isso indica que a temperatura excedeu o limite seguro, sinalizando uma anomalia no processo.

Figura 55 - Lógica Ladder.



Fonte: Autoria própria.

Esse fluxo de comunicação evidencia a viabilidade de integrar microcontroladores de baixo custo, como o ESP32, a sistemas industriais mais robustos, utilizando protocolos modernos como MQTT e OPC UA. Essa abordagem demonstra um sistema eficiente, com baixa latência e fácil escalabilidade, permitindo a implementação de soluções de monitoramento remoto em ambientes industriais.

A implementação do código no ESP32 tem um papel fundamental no projeto, pois é responsável pela aquisição dos dados do sensor de temperatura DHT11 e pela comunicação com o CLP para o controle da esteira transportadora no Factory I/O. Para isso, utilizamos um ESP32, que possibilita a leitura da temperatura em tempo real e o envio dessas informações ao sistema de controle, garantindo uma resposta rápida e eficiente.

5. CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO ENTRE OPC UA E MQTT

A funcionalidade e a estabilidade da comunicação são aspectos cruciais em sistemas de automação industrial, especialmente em projetos que envolvem a integração de protocolos como OPC UA e MQTT. Esses fatores garantem que o sistema opere de maneira confiável, atenda às expectativas de desempenho e suporte o ambiente industrial dinâmico, onde a precisão e a continuidade dos dados são fundamentais.

No contexto deste projeto, a funcionalidade da comunicação refere-se à capacidade dos protocolos implementados de atender às necessidades específicas da aplicação. O OPC UA, por exemplo, mostrou-se funcional ao permitir a exportação de variáveis do CLP Siemens S7-1500 para o Node-RED. Através de seu modelo estruturado, foi possível acessar variáveis, como o nível do tanque, de forma padronizada e eficiente. Além disso, a utilização de NodeIDs no UAExpert demonstrou a facilidade na configuração e no acesso às informações.

Por outro lado, o protocolo MQTT destacou-se na disseminação dessas informações. Os dados processados no Node-RED foram compartilhados em tempo real com outras plataformas, como o Grafana, e dispositivos conectados. A funcionalidade do MQTT foi evidenciada pela simplicidade de configuração, baixo consumo de recursos e flexibilidade para integrar múltiplos dispositivos.

A análise da funcionalidade e da estabilidade da comunicação revelou que ambos os protocolos, OPC UA e MQTT, desempenharam seus papéis de forma complementar. O OPC UA forneceu uma comunicação segura e padronizada entre o CLP e o Node-RED, enquanto o MQTT permitiu a distribuição eficiente dos dados para sistemas superiores e dispositivos conectados. Essa integração garantiu um fluxo contínuo e confiável de informações, essencial para o monitoramento e controle do processo.

Conclusivamente, a funcionalidade e a estabilidade da comunicação não apenas comprovam a viabilidade técnica do sistema desenvolvido, mas também destacam sua aplicabilidade em cenários industriais reais. Esses aspectos são fundamentais para garantir a confiabilidade operacional, a eficiência dos processos e a escalabilidade do sistema para futuras expansões.

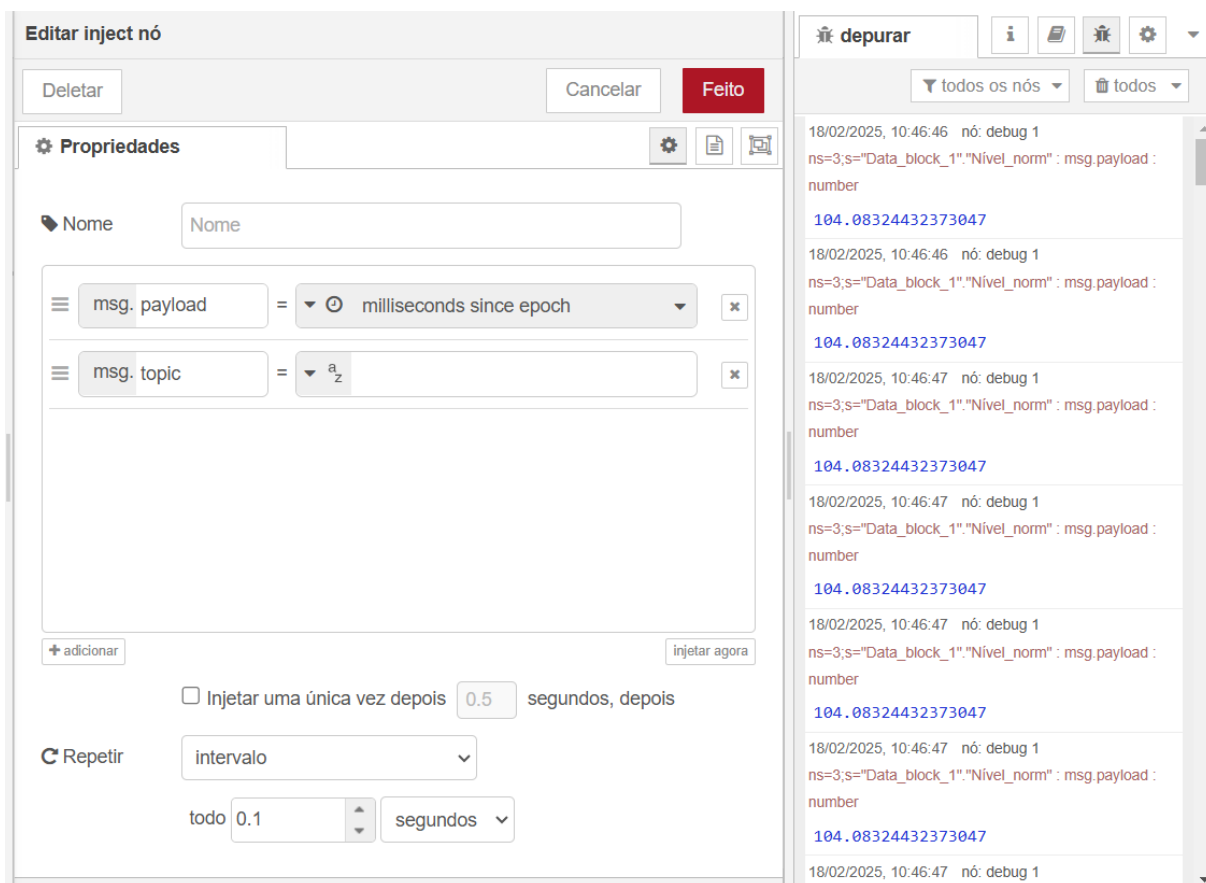
5.2 VELOCIDADE E LATÊNCIA NA TRANSMISSÃO DE DADOS

A velocidade e a latência na transmissão de dados são fatores essenciais para a eficácia de sistemas de automação industrial e monitoramento em tempo real. Esses aspectos determinam a rapidez com que os dados trafegam entre dispositivos, bem como o tempo de resposta para eventos críticos, impactando diretamente na capacidade do sistema de atender às demandas de controle e supervisão.

A análise dos logs de depuração, demonstrou que os dados estavam sendo recebidos com um intervalo médio de aproximadamente 100 ms, confirmando a correta sincronização com o nó inject representado pela Figura 56. Esse intervalo representa a velocidade de aquisição dos dados, sendo influenciado por fatores como a capacidade de processamento do CLP, a largura de banda da rede e a eficiência do protocolo de comunicação.

A análise revelou que o tempo de transmissão dos dados entre o CLP e o Node-RED manteve-se estável, com uma periodicidade condizente com a configuração do sistema. A latência mínima observada indica que o uso do protocolo OPC UA, aliado a uma infraestrutura de rede adequada, permite uma comunicação eficiente e confiável para aplicações industriais que exigem monitoramento contínuo.

Figura 56 - Velocidade de transferência do CLP para o Node Red.



Fonte: Autoria própria.

A análise dos dados extraídos do InfluxDB revela que, em um intervalo de um segundo, foram registradas nove medições, o que corresponde a uma frequência de 0,1 segundo (100 ms) entre cada amostra. Esse valor está alinhado com a configuração do Node-RED, onde o intervalo de aquisição foi definido para coletar dados a cada 100 ms. Essa correspondência indica que o sistema está operando conforme o esperado, sem perdas significativas de dados durante a transmissão e o armazenamento.

Além disso, a estabilidade na taxa de aquisição sugere que a comunicação entre os dispositivos e a base de dados ocorre de maneira eficiente, garantindo a integridade das informações coletadas. A análise dos timestamps mostra que os dados são registrados aproximadamente a cada 100 ms, com pequenas variações entre os tempos medidos, como 108 ms, 111 ms e 107 ms. Essas oscilações mínimas podem ser atribuídas ao tempo de processamento do banco de dados e à latência da comunicação. No entanto, esses valores permanecem dentro de uma margem

aceitável para aplicações industriais e não comprometem a confiabilidade da aquisição.

Outro ponto relevante é a precisão temporal em milissegundos oferecida pelo InfluxDB, permitindo a análise detalhada de eventos rápidos.

Além disso, a organização dos dados em ordem cronológica crescente confirma que não há registros fora de sequência, garantindo que o processo de coleta e armazenamento ocorre de maneira consistente, sem perda ou sobreposição de medições.

Portanto, a Tabela 2 comprova que a configuração do sistema está correta, garantindo a captura contínua dos dados com uma taxa de amostragem precisa e dentro dos parâmetros estabelecidos. Essa confiabilidade é fundamental para processos que exigem monitoramento detalhado e reações rápidas a variações inesperadas, garantindo eficiência e segurança operacional.

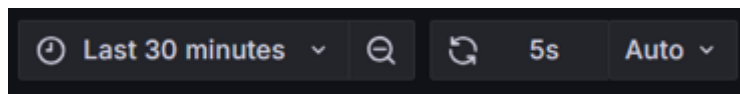
Tabela 2 - Aquisição de Dados – Registro de Amostras Temporais.

2025-02-19T03:39:59.985Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.094Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.205Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.313Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.42Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.528Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.639Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.746Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.855Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:00.962Z 119.29934692382812
2025-02-19T03:40:01.069Z 119.29934692382812

Fonte: Autoria própria.

A Figura 57 mostra um painel do Grafana configurado para monitoramento de nível, onde algumas opções de tempo e atualização estão visíveis. Essas configurações influenciam diretamente a forma como os dados são exibidos e atualizados, impactando a visualização das tendências e a responsividade do painel.

Figura 57 - Opções de tempo e atualização.



Fonte: Autoria própria.

O período de visualização está definido para "Last 30 minutes", o que significa que o gráfico está exibindo os dados coletados nos últimos 30 minutos. Essa configuração é útil para acompanhar variações recentes no nível monitorado, permitindo uma análise mais dinâmica das mudanças ocorridas nesse intervalo. No entanto, dependendo da necessidade, o período pode ser ajustado para janelas de tempo maiores, como "Last 1 hour" ou "Last 6 hours", para uma visão mais ampla, ou menores, como "Last 5 minutes", para detalhes mais específicos.

A atualização automática dos dados está definida para ocorrer a cada 5 segundos. Isso significa que o painel está constantemente recebendo novas informações e exibindo-as quase em tempo real. Essa taxa de atualização é ideal para processos rápidos que exigem monitoramento contínuo. No entanto, se os dados mudam de forma mais lenta ou se houver necessidade de reduzir a carga no servidor, esse intervalo pode ser aumentado para 10s, 30s ou até mais, garantindo um melhor equilíbrio entre desempenho e atualização.

Além disso, há um botão de atualização manual que permite recarregar os dados a qualquer momento, caso o usuário queira forçar uma nova leitura sem aguardar a atualização automática. Esse recurso pode ser útil para verificar rapidamente se há novas informações disponíveis ou para conferir mudanças recentes.

Por fim, o modo "Auto" sugere que o Grafana pode estar ajustando automaticamente a interpolação e o espaçamento entre os pontos de dados no gráfico, otimizando a visualização conforme a escala de tempo escolhida. Isso garante que os dados sejam exibidos de forma clara e compreensível, sem sobrecarregar o painel com informações excessivas ou tornar a leitura confusa.

Em resumo, as configurações mostradas na imagem indicam um painel de monitoramento eficiente, atualizado a cada 5 segundos e exibindo os últimos 30 minutos de dados. Dependendo da necessidade de análise, ajustes podem ser feitos para melhorar a visualização e otimizar a performance do sistema.

5.3 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO

A análise de custo-benefício é um aspecto crucial em projetos de automação industrial e monitoramento, pois permite avaliar se os recursos investidos trazem retorno adequado em termos de funcionalidades, eficiência e confiabilidade. Este capítulo aborda os custos associados às ferramentas utilizadas no projeto, como licenças de *software* e plataformas de monitoramento e armazenamento de dados, além de discutir suas vantagens e limitações. Este capítulo aborda os custos associados às ferramentas utilizadas no projeto, como licenças de *software* e plataformas de monitoramento e armazenamento de dados, além de discutir suas vantagens e limitações.

O TIA Portal, desenvolvido pela Siemens, é uma plataforma abrangente para programação e integração de controladores lógicos programáveis (CLPs) e sistemas SCADA/HMI, incluindo o WinCC. As licenças do TIA Portal variam conforme o módulo adquirido. Para aplicações menores, a versão básica apresenta custos reduzidos, enquanto a versão avançada, com suporte ao WinCC Professional, pode ultrapassar milhares de reais.

WinCC Advanced ou Professional são necessários para sistemas SCADA mais robustos. Apesar do custo elevado, essas versões oferecem integração total com *hardware* Siemens e suporte técnico especializado.

Em termos de custos, o TIA Portal com WinCC representa um investimento significativo, especialmente para licenças avançadas e suporte técnico especializado. Esse custo é justificado pela integração nativa com *hardware* Siemens e pelas funcionalidades robustas oferecidas, que são essenciais para projetos de grande escala e alta criticidade. Já o Node-RED, por ser uma ferramenta de código aberto, reduz drasticamente os custos de licenciamento, mas exige investimentos em infraestrutura e mão de obra qualificada para configuração e manutenção. Essa diferença de custos torna o Node-RED uma opção mais acessível para projetos menores ou com orçamento limitado.

Por outro lado, o Node-RED surge como uma alternativa flexível e de baixo custo, especialmente adequada para projetos que exigem integração com múltiplas plataformas e protocolos. Como uma ferramenta de código aberto, o Node-RED

elimina custos de licenciamento, mas requer investimentos em infraestrutura de *hardware* e mão de obra especializada para configuração e manutenção. Sua principal vantagem reside na capacidade de se integrar com uma ampla variedade de sistemas, incluindo bancos de dados como o InfluxDB e ferramentas de visualização como o Grafana, proporcionando uma solução completa para monitoramento e análise de dados.

Em termos de custo, o InfluxDB oferece uma versão gratuita que, embora seja funcional, apresenta limitações em termos de armazenamento e funcionalidades avançadas. Essa opção atende bem a projetos de menor escala ou com menor demanda de recursos. Para aplicações mais robustas, no entanto, as versões pagas são indispensáveis, proporcionando recursos adicionais, como maior capacidade de armazenamento, suporte técnico dedicado e ferramentas avançadas de gerenciamento de dados. Os preços dessas versões são ajustados com base no volume de dados e nas funcionalidades contratadas, o que pode tornar o investimento significativo para projetos maiores.

Entre os principais benefícios do InfluxDB, destaca-se sua eficiência no armazenamento e consulta de séries temporais, permitindo análises rápidas e precisas. Além disso, sua integração nativa com ferramentas de visualização, como o Grafana, facilita a criação de *dashboards* interativos e informativos. Outro ponto positivo é sua linguagem de consulta personalizada, que simplifica a criação de consultas complexas, tornando-o uma ferramenta poderosa para profissionais da área.

Por outro lado, o InfluxDB também apresenta algumas limitações. A versão gratuita, apesar de útil, pode ser insuficiente para projetos de grande escala que requerem alta disponibilidade e capacidade de armazenamento. Além disso, ao optar por soluções de armazenamento em nuvem ou suporte técnico especializado, podem surgir custos adicionais, que devem ser considerados no planejamento financeiro do projeto. Assim, a escolha pelo InfluxDB deve levar em conta tanto suas vantagens quanto suas limitações, garantindo que ele se alinhe às necessidades específicas do projeto e ao orçamento disponível.

5.4 FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO E USO

A facilidade de implementação e uso é um fator determinante no sucesso de projetos industriais que envolvem comunicação entre dispositivos e armazenamento de dados. Este capítulo aborda como as ferramentas utilizadas no projeto, como Node-RED, OPC UA, InfluxDB e Grafana, promovem a simplicidade na configuração e operação, garantindo maior eficiência durante o desenvolvimento e manutenção do sistema.

O Node-RED se destaca por sua interface visual baseada em fluxos, que permite criar integrações de forma intuitiva e sem a necessidade de extensa programação. A configuração de nós e conexões é feita por meio de um ambiente gráfico amigável, possibilitando que mesmo usuários com pouca experiência em programação configurem fluxos de dados de maneira eficiente. Essa característica reduz o tempo de desenvolvimento e facilita a adaptação do sistema às necessidades específicas do projeto. Além de permitir a integração entre controladores industriais e microcontroladores, onde representa um avanço significativo na automação industrial, permitindo maior flexibilidade e redução de custos operacionais. O estudo demonstrou a viabilidade dessa conexão, utilizando o Node-RED como ferramenta de intermediação para a comunicação entre o microcontrolador ESP8266 e o CLP Siemens S7-1500.

A implementação dessa integração mostrou-se eficiente na troca de informações em tempo real, possibilitando aplicações voltadas para monitoramento e controle remoto. Além disso, a abordagem adotada reforça a importância da interoperabilidade dentro do contexto da Indústria 4.0, promovendo maior acessibilidade e escalabilidade para diferentes segmentos da indústria.

O protocolo OPC UA, apesar de sua robustez e amplo suporte a dispositivos industriais, oferece uma interface padronizada que simplifica a conexão entre diferentes sistemas. Ferramentas como o UAExpert permitem que os usuários visualizem e configurem variáveis de forma clara, enquanto plataformas como o TIA Portal tornam o processo de ativação do servidor OPC UA no CLP intuitivo. Essa padronização elimina a necessidade de complexos ajustes de comunicação, contribuindo para uma implementação mais prática.

O InfluxDB, sendo um banco de dados otimizado para séries temporais, apresenta uma curva de aprendizado suave. Sua instalação e configuração são rápidas, especialmente para usuários que adotam a versão local ou gratuita. A integração com ferramentas de visualização, como o Grafana, é direta, bastando configurar as credenciais de acesso e os parâmetros de conexão. Isso simplifica a criação de um sistema robusto de armazenamento e consulta de dados históricos.

O Grafana se destaca por sua interface intuitiva para a criação de *dashboards* personalizados. A ferramenta oferece templates pré-configurados, que auxiliam na visualização inicial dos dados, além de suportar ajustes detalhados, como configurações de alertas e filtros dinâmicos. A capacidade de compartilhar *dashboards* com equipes também torna o uso colaborativo e eficiente, incentivando a adoção rápida por diferentes níveis de usuários.

A facilidade de implementação e uso das ferramentas escolhidas neste projeto é uma de suas principais vantagens. A combinação de soluções acessíveis, intuitivas e flexíveis permite que o sistema seja configurado rapidamente, sem comprometer sua robustez ou escalabilidade. Essa abordagem não só otimiza o tempo de desenvolvimento, mas também facilita a manutenção contínua, garantindo que o projeto atenda às demandas atuais e futuras de maneira eficiente.

6. CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO

O projeto demonstrou a viabilidade técnica de integrar diferentes tecnologias para criar um sistema de automação industrial eficiente e moderno. A combinação de programação em ladder no TIA Portal, simulação no Factory I/O, comunicação via OPC UA, armazenamento de dados no InfluxDB e visualização em tempo real no Grafana resultou em uma solução robusta e escalável. Essa integração permite o monitoramento contínuo e a análise histórica dos dados, facilitando a identificação de tendências, anomalias e oportunidades de otimização.

A análise de custo-benefício do projeto revela que, embora algumas ferramentas utilizadas tenham custos significativos, como o TIA Portal e o WinCC da Siemens, a escolha de soluções de código aberto, como o Node-RED e o Grafana, ajuda a equilibrar os custos. O Node-RED, por exemplo, elimina custos de licenciamento, mas exige investimentos em infraestrutura e mão de obra qualificada para configuração e manutenção. Já o InfluxDB oferece uma versão gratuita que atende a projetos de menor escala, enquanto as versões pagas são mais adequadas para aplicações industriais de grande porte.

A facilidade de implementação e uso foi um dos pontos fortes do projeto. O Node-RED, com sua interface visual baseada em fluxos, permite a criação de integrações de forma intuitiva, mesmo para usuários com pouca experiência em programação. O protocolo OPC UA, por sua vez, oferece uma interface padronizada que simplifica a conexão entre diferentes sistemas, eliminando a necessidade de ajustes complexos de comunicação.

O InfluxDB e o Grafana também se destacam pela facilidade de configuração e uso. O InfluxDB é otimizado para séries temporais, com uma curva de aprendizado suave, enquanto o Grafana oferece uma interface intuitiva para a criação de *dashboards* personalizados, com templates pré-configurados que facilitam a visualização inicial dos dados. A combinação dessas ferramentas permite que o sistema seja configurado rapidamente, sem comprometer sua robustez ou escalabilidade.

O sistema desenvolvido demonstrou um tempo de resposta eficiente, com uma latência mínima na transmissão de dados entre o CLP e o Node-RED. A análise dos logs de depuração revelou que os dados eram recebidos com um intervalo médio de

aproximadamente 100 ms, o que é adequado para aplicações industriais que exigem monitoramento contínuo e resposta rápida a eventos críticos.

A integração do OPC UA e do MQTT garantiu uma comunicação confiável e em tempo real, permitindo que os dados fossem transmitidos de forma eficiente entre o sistema de controle e as ferramentas de supervisão. A capacidade de atualização dos *dashboards* no Grafana a cada 5 segundos também contribuiu para a eficiência do sistema, permitindo que operadores e gestores reagissem rapidamente a qualquer variação inesperada no processo.

A aplicabilidade do sistema é ampla, podendo ser utilizada em diversos setores industriais, como manufatura, petroquímica, alimentícia, entre outros. A capacidade de simular processos industriais antes da implementação física reduz custos e riscos, tornando o sistema ideal para empresas que buscam modernizar suas operações sem comprometer a segurança ou a eficiência.

Em conclusão, o projeto demonstrou ser uma solução moderna e eficiente para a automação industrial, capaz de atender às demandas da Indústria 4.0. A combinação de tecnologias como o TIA Portal, Factory I/O, OPC UA, Node-RED, InfluxDB e Grafana resultou em um sistema robusto, escalável e de fácil implementação, que pode ser aplicado em diversos setores industriais.

A facilidade de implementação e uso, aliada ao tempo de resposta eficiente, torna o sistema ideal para empresas que buscam modernizar suas operações e se manterem competitivas em um mercado cada vez mais dinâmico e exigente.

Portanto, o projeto não apenas atende aos objetivos propostos, mas também abre caminho para futuras implementações e melhorias, contribuindo para a modernização da indústria e a adoção de tecnologias avançadas que promovem a eficiência, a segurança e a sustentabilidade dos processos industriais.

REFERÊNCIAS

ALTUS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO. **Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial.** Disponível em:

<https://www.altus.com.br/post/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>. Acesso em: 09 fev. 2025.

AMAZON WEB SERVICES. **Observações para a implementação de AWS IoT SiteWise em ambientes industriais.** 2022. Disponível em:

<https://aws.amazon.com/pt/blogs/aws-brasil/observacoes-para-a-implementacao-de-aws-sitewise-em-ambientes-industriais/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ANDRADE, Willian Jeferson. **Aplicação industrial de controladores lógicos programáveis, interfaces homem máquina e computadores industriais Bosch Rexroth.** 2013.

AUTOMATA DO BRASIL. **Indústria 4.0 no Brasil.** Disponível em:

<https://www.automataweb.com.br/industria-4-0-no-brasil/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

AZEVEDO, Hugo César Diniz. **Controlador lógico programável aplicado à indústria 4.0.** 2018.

BALDISSARELLI, L., & FABRO, E. (2019). **Manutenção Preditiva na indústria 4.0.** Scientia cum industria, v. 7, n. 2, pp. 12 — 22, 2019.

BRAGA, Glauber de Arruda. **Interoperabilidade entre controladores industriais e Factory I/O através de um servidor OPC UA.** 2024. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Instituto de Computação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. da. **A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia.** In: encontro internacional de produção científica, 7.

2011. Maringá. Anais eletrônico. Maringá. 2011. Disponível em:<

[https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-](https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf)

[content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf](https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2025.

COSTA, Marcos Paulo de Souza. **Análise da Computação em Nuvem aplicada à Indústria 4.0**. 2023. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2023.

GRAFANA. **Grafana Cloud**. Disponível em: <https://grafana.com/docs/grafana-Cloud/>. Acesso em: 18 out. 2024.

INFLUXDATA. **InfluxData Documentation**. Disponível em: <https://docs.influxdata.com/>. Acesso em: 18 out. 2024.

MENDES, Cleiton Rodrigues; BORTOLI, Fabio Silva; DA COSTA, Cesar. **Industria 4.0 A Digitalização Da Manufatura: Um Caso De Estudo**. Revista Científica do Instituto Federal de São Paulo–SINERGIA. ISSN.

NODE-RED. **Flow-based programming for the Internet of Things**. Disponível em: <https://nodered.org/>. Acesso em: 17 out. 2024.

RAUFFMANN, V. N. **Utilização de software de simulação 3D como ferramenta de apoio ao projeto e à implementação de lógicas de controle para sistemas a eventos discretos**.

REAL GAMES. **Factory I/O**. Disponível em: <https://factoryio.com/>. Acesso em: 16 out. 2024.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. **As revoluções industriais até a indústria 4.0**. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SILVA, Gabriel Sales Mendes da. **Digitalização na Indústria 4.0-Análise de Digitalização de Fábricas: Implementação de Sistemas de Monitoramento, Coleta de Dados e Automação**. 2023.

SILVA SOTOLANI, Rodrigo; DE ARAÚJO CIONINI MENEZES, Isabella; VERARDI GALEGALE, Napoleão; DUDUCHI FEITOSA, Marcelo. **Vulnerabilidades de Segurança da Informação na Indústria 4.0: proposição de Critérios para o uso de Análise Multicritério**. Exacta, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 491–522, 2024.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. **Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial**. Redes para Automação Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 16, 2003.

SIEMENS. **TIA Portal – Portal de Engenharia totalmente integrado**. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/produtos/software/industria/automacao/tia-portal.html>. Acesso em: 13 out. 2024.

YAMADA, V., & MARTINS, L. (2019). **Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo**. Revista Terra & Cultura: Cadernos De Ensino E Pesquisa, 34(esp.), 95-109.