

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

JORDEÃO JOAL OLIVEIRA DE SENA

GERENCIAMENTO REMOTO DE MAQUINÁRIO.
Desenvolvimento de um protótipo de sistema supervisório utilizando Windows
Form, tela Nextion, PLC Siemens S7-1200 e ESP32.

Betim

2025

JORDEÃO JOAL OLIVEIRA DE SENA

GERENCIAMENTO REMOTO DE MAQUINÁRIO.

Desenvolvimento de um protótipo de sistema supervisório utilizando Windows Form, tela Nextion, PLC Siemens S7-1200 e ESP32.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Helbert de Sá

Betim

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S474g Sena, Jordeão Joal Oliveira de

Gerenciamento remoto de maquinário: desenvolvimento de um protótipo de sistema supervisório utilizando Windows Form, Tela Nextion, PLC Siemens S7-1200 e ESP32. / Jordeão Joal Oliveira de Sena. – 2025.

66 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Helbert Ribeiro de Sá

1. Controladores programáveis. 2. Microcontroladores. 3. Sistemas supervisórios. 4. ESP32. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Sena, Jordeão Joal Oliveira de. II. Título.

CDU: 681.5

JORDEÃO JOAL OLIVEIRA DE SENA

GERENCIAMENTO REMOTO DE MAQUINÁRIO.

Desenvolvimento de um protótipo de sistema supervisório utilizando Windows Form, tela Nextion, PLC Siemens S7-1200 e ESP32.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 17 / 02 / 2025 pela banca examinadora:

Prof. Me. Helbert de Sá (Orientador) – IFMG Campus Betim

Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida – IFMG Campus Betim

Prof. Me. Michelle Mendes Santos – IFMG Campus Betim

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos em minha vida, ao meu filho, Anthony, à minha amada esposa, Kênia, aos meus pais, irmãos, amigos e familiares. Sou profundamente grato pelo apoio incondicional e pela compreensão diante das minhas ausências dedicadas aos estudos. Um agradecimento especial ao meu querido pai, Antônio André de Sena, *in memoriam*. Este período significou uma intensa jornada de aprendizado e desenvolvimento. Sou imensamente grato ao IFMG pela excelência no ensino e compromisso com a formação de profissionais. Agradeço aos professores, colaboradores e colegas que fizeram parte dessa caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema supervisório para monitoramento em tempo real de dados coletados em um processo produtivo, permitindo otimizar a coleta de dados de produção, logística, qualidade, segurança e manutenção industrial. O protótipo destaca-se por ser uma opção que tem o potencial de apresentar um custo menor de investimento quando comparado a soluções fornecidas por fabricantes consolidados no mercado, devido ao uso de softwares de arquitetura aberta e hardwares de baixo custo, além da possibilidade de utilização de comunicação em protocolo Wi-Fi para realizar a troca de dados entre os dispositivos, reduzindo a complexidade presente nos sistemas cabeados. O protótipo é composto por uma tela Nextion, que é sensível ao toque, e permite realizar a interação homem-máquina, um microcontrolador ESP32 atuando como cliente/servidor Modbus TCP/IP em rede Wi-Fi, um PLC Siemens S7-1200 para gerenciamento e controle do maquinário e um sistema supervisório desenvolvido no Visual Studio para apresentar os dados de forma gráfica em um computador com display dedicado. Este trabalho aborda conceitos relacionados ao tema, analisa trabalhos semelhantes, descreve o processo de desenvolvimento, apresenta conclusões e propõe sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Sistema Supervisório; Visual Studio C#; Nextion; ESP32; PLC.

ABSTRACT

This work presents the development of a supervisory system prototype for real-time monitoring of data collected in a production process, enabling the optimization of data collection related to production, logistics, quality, safety, and industrial maintenance. The prototype stands out as a cost-effective alternative compared to solutions provided by well-established manufacturers, due to the use of open-architecture software and low-cost hardware, as well as the possibility of using Wi-Fi protocol communication for data exchange between devices, reducing the complexity found in wired systems. The prototype consists of a Nextion touchscreen display for human-machine interaction, an ESP32 microcontroller acting as a Modbus TCP/IP client/server over a Wi-Fi network, a Siemens S7-1200 PLC for machinery management and control, and a supervisory system developed in Visual Studio to graphically display data on a dedicated computer screen. This work explores related concepts, analyzes similar studies, describes the development process, presents conclusions, and suggests directions for future research.

Keywords: *Supervisory System; Visual Studio C#; Nextion; ESP32; PLC.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Pirâmide da automação.....	9
Figura 2: Estruturas para passagem de cabos de potência e comando.....	11
Figura 3: Uso do microcontrolador ESP32 para monitoramento e operação de um inversor de frequência por rede Wi-fi.....	15
Figura 4: Projeto e aplicação de um sistema de coleta de dados em tempo real para indústria.....	16
Figura 5: Visão geral de um ESP32.....	19
Figura 6: Display Nextion.....	19
Figura 7: PLC Siemens S7-1200.....	20
Figura 8: Arduino IDE.....	21
Figura 9: Software Nextion Editor.....	22
Figura 10: Visual Studio.....	23
Figura 11: TIA PORTAL V13.....	23
Figura 12: Esboço da arquitetura do projeto.....	24
Figura 13: Comunicação entre dispositivos.....	25
Figura 14: ESP32 e LAN8720.....	26
Figura 15: WT32-ETH01.....	27
Figura 16: Comunicação entre dispositivos.....	28
Figura 17: Esquemático elétrico.....	29
Figura 18: Ladder desenvolvido para o PLC.....	30
Figura 19: Interface criada pelo Nextion Editor.....	32
Figura 20: Tela de Menu.....	32
Figura 21: Tela de colaboradores.....	33
Figura 22: Tela de alarmes.....	33
Figura 23: Tela de parâmetros de máquina.....	33
Figura 24: Tela de rota de fuga.....	34
Figura 25: Configuração dos botões na tela Nextion.....	36
Figura 26: Configuração das propriedades de ferramenta no Nextion Editor.....	37
Figura 27: Layout de um processo produtivo desconectado.....	38
Figura 28: Conexão com os dispositivos.....	38
Figura 29: Configurações de produção e estoque.....	38
Figura 30: Configurações de manutenção e chamados.....	39
Figura 31: Telas de Alerta de evacuação.....	39
Figura 32: Telas de controle de usuários.....	40
Figura 33: Tela de ajuste de data e hora.....	40
Figura 34: Tela de histórico de falhas.....	40
Figura 35: Tela sobre.....	41
Figura 36: Layout final criado no Visual Studio Conectado.....	44
Figura 37: Layout final na tela Nextion Conectado.....	45
Figura 38: Montagem final do protótipo.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas da Revolução Industrial.....	8
Tabela 2: Comparação entre protocolos Wi-Fi IEEE 802.11.....	12
Tabela 3: Comparação sistema cabeado x Wi-fi.....	13
Tabela 4: Comparação de custos.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ADC/DAC – Conversor Analógico-Digital / Conversor Digital-Analógico (*Analog-to-Digital Converter / Digital-to-Analog Converter*).
- CAD-CAM – Projeto Assistido por Computador e Manufatura Assistida por CNC – Controle Numérico Computadorizado (*Computer Numerical Control*).
- Computador (*Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing*).
- PLC / CLP – Controlador Lógico Programável (Controlador Lógico Programável / *Programmable Logic Controller*).
- EPI – Equipamento de Proteção Individual.
- ERP – Planejamento de Recursos Empresariais (*Enterprise Resource Planning*).
- GND – Aterramento elétrico (*Ground*).
- GPIOs – Pinos de Entrada e Saída de Propósito Geral (*General-Purpose Input/Output*).
- IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).
- IDE – Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment*).
- I2C – Interface de Comunicação Inter-Integrada (*Inter-Integrated Circuit*).
- I2S – Interface de Som Inter-Integrada (*Inter-IC Sound*).
- IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais
- IHM – Interface Homem-Máquina.
- IOT – Internet das Coisas (*Internet of Things*).
- MAC – Endereço de Controle de Acesso à Mídia (*Media Access Control*).
- MES – Manutenção Estratégica do Sistema.
- PCB – Placa de Circuito Impresso (*Printed Circuit Board*).
- PMS – Sistema de Gerenciamento da Produção (*Production Management System*).
- PWM – Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation*).
- QR-Code – Código de Resposta Rápida (*Quick Response Code*).
- RAM – Memória de Acesso Aleatório (*Random Access Memory*).
- RFID – Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification*).
- RH – Recursos Humanos.
- SCADA – Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (*Supervisory Control and Data Acquisition*).
- SPI – Interface Periférica Serial (*Serial Peripheral Interface*).
- TCP/IP – Protocolo de Controle de Transmissão / Protocolo da Internet (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*).
- TIA PORTAL – Portal de Automação Totalmente Integrado (*Totally Integrated Automation Portal*).
- TPM – Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*).
- UART – Transmissor e Receptor Assíncrono Universal (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*).
- Wi-Fi – Padrão de Rede Sem Fio (*Wireless Fidelity*).
- WPA – Acesso Protegido Wi-Fi (*Wi-Fi Protected Access*).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativas.....	2
1.2	Colocação do problema.....	3
1.3	Objetivos.....	5
1.4	Organização do trabalho.....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1	Trabalhos relacionados.....	14
3	METODOLOGIA.....	18
3.1	Materiais e ferramentas utilizadas.....	18
3.1.1	Hardware.....	18
3.1.2	Softwares.....	21
3.2	Arquitetura do projeto.....	24
3.3	Protocolos de comunicação.....	25
3.4	Comunicação entre Plc e Esp32.....	26
3.5	Alimentação elétrica dos dispositivos.....	27
3.6	Programação do Plc.....	29
3.7	Programação do Esp32 para receber os dados do Plc.....	30
3.8	Desenvolvimento de telas no Nextion Editor.....	31
3.9	Comunicação entre Esp32 e Nextion.....	34
3.10	Desenvolvimento de telas do supervisório no Visual Studio.....	37
3.11	Comunicação entre Esp32 e supervisório.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Resultado final.....	44
4.2	Testes de validação.....	45
4.3	Dificuldades encontradas.....	46
5	CONCLUSÃO.....	49
5.1	Trabalhos futuros.....	49
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta contextos, trabalhos similares e o desenvolvimento de um protótipo experimental que permite o monitoramento remoto de variáveis em um processo produtivo.

Para isto foi desenvolvido um ambiente fabril fictício, projetado para simular quatro operações industriais de um setor automotivo, sendo eles: Usinagem, duas etapas de soldagem e uma etapa de paletização. Para fim de delimitação, foi desenvolvida somente a lógica de programação da primeira operação. Em um cenário real, essa solução poderia ser ampliada para ser implementada em todos os maquinários da planta industrial, permitindo controlar o processo produtivo de forma eficiente e abrangente.

Embora o estudo tenha sido concebido para a indústria automotiva, a solução foi desenvolvida para ser versátil e aplicável a diversos segmentos industriais. Além disso, pode ser implementada em maquinários que não utilizam PLCs, desde que permitam a instalação de sensores que possibilitem a coleta de dados.

O diferencial deste projeto está na utilização de softwares de plataforma aberta e hardwares de baixo custo, além de possuir uma grande capacidade de personalização. O trabalho busca demonstrar que este protótipo pode ser uma alternativa financeira interessante, especialmente considerando que a implementação de um sistema supervisor tende a demandar um alto valor de investimento.

Resumidamente, o protótipo desenvolvido é composto por cinco dispositivos físicos.

- Controlador (PLC): Responsável por disponibilizar os dados de produção, valores de sensores e informações sobre falhas no processo.
- Microcontrolador: Responsável por realizar a coleta e disponibilização dos dados gerados no processo de produção.
- Tela Interativa: Permite que o operador interaja e visualize dados do processo.
- Sistema Supervisor: Permite o monitoramento das máquinas pelas equipes de apoio e gestão.
- Roteador: Possibilita a conexão entre os dispositivos com a Internet.

1.1 Justificativas

O desenvolvimento deste trabalho justifica-se pela crescente necessidade de empresas investirem em automação como estratégia para enfrentar os desafios do mercado e otimizar seus processos produtivos. A indústria brasileira fecha 2024 com crescimento de 3,1%, com saldo positivo em 20 dos 25 ramos (SECON, 2025). Em um cenário de alta competitividade, o investimento em automação torna-se essencial para garantir maior eficiência operacional, reduzir desperdícios e melhorar a tomada de decisões.

O uso da automação industrial pode auxiliar para que as empresas tenham um controle produtivo mais eficiente, evitando penalidades por atrasos e descumprimento de contratos de fornecimento, otimizando seus investimentos, aprimorando a alocação de mão de obra e utilizando a matéria-prima de forma mais eficiente. Além disso, a implementação de sistemas automatizados favorece a definição de metas e indicadores eficazes, contribuindo para um gerenciamento estratégico (SEBRAE, 2023).

Apesar de grandes fabricantes, como a Siemens com o WinCC, a Rockwell Automation com o FactoryTalk View e a Elipse Software com o Elipse E3, oferecerem soluções robustas e eficientes para automação e supervisão industrial, os custos envolvidos na aquisição de dispositivos, treinamento, licenciamento de software e contratação de profissionais qualificados para programação e manutenção podem ser elevados. Ainda mais observando que muitos destes dispositivos fornecidos geralmente são importados, o que pode trazer dificuldades logísticas e cambiais no seu processo de aquisição. Podendo ser considerado inviável para muitas empresas, especialmente as de pequeno e médio porte (MURRELEKTRONIK, 2023). Outra dificuldade está na restrição a protocolos de rede específicos, o que pode dificultar a integração com máquinas de diferentes fabricantes, reduzindo a interoperabilidade e aumentando a dependência de um único fabricante (CTCTECH, 2024).

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo, visando oferecer uma alternativa mais acessível, flexível e adaptável às necessidades específicas de diferentes segmentos industriais. A escolha dos softwares e hardwares se baseou em critérios de acessibilidade, compatibilidade, eficiência e disponibilidade. Sendo dada preferência aos hardwares e softwares que foram utilizados nas disciplinas do curso.

1.2 Colocação do problema

O processo de coletar manualmente dados no processo produtivo, principalmente utilizando formulários impressos, pode ser lento, conter inconsistências, gerar impacto ambiental e reduzir o tempo de reação a problemas. Realizar modificações em formulários físicos também pode ser algo lento, que pode exigir a remoção dos formulários antigos dos setores ou a espera de se exaurir os formulários antigos, para evitar que eles se misturem (SEBRAE, 2023).

Geralmente nos contratos de fornecimento entre clientes e fornecedores que trabalham com linha de produção em série, existem cláusulas com penalizações por atrasos e problemas de qualidade, exigindo que as empresas tenham ótimo controle do seu processo e invistam em soluções para aumentar a eficiência dos seus processos. Para garantia do funcionamento dos processos e do atendimento a normas de qualidade, são realizadas auditorias periódicas, que podem ser internas ou externas. Quando os meios auditados incluem formulários físicos é preciso manter os mesmos organizados e armazenados em local seguro, protegendo proteção contra a deterioração e extravio, pois o auditor pode solicitar a comprovação do registro de uma ocorrência em uma data específica. A busca manual por este documento, em meio a tantos outros, pode ser demorada e complexa (SAAMAUDITORIAS, 2024).

Após a coleta de dados manual geralmente temos que passar por processos de digitalização em planilhas ou softwares, demandando a alocação de mão de obra para coleta e digitalização (SEBRAE, 2023). A coleta geralmente ocorre em momentos específicos, geralmente ao final do turno de produção, o que pode resultar na perda de tempo valioso para detecção e correção de problemas.

Um outro desafio impactante encontrado por empresas que buscam investir em automação é o alto custo para adquirir hardwares e licenças de softwares fornecidos pelos grandes fabricantes, levando em conta os investimentos em engenharia, assistência e implantação (AURÉLIO, 2018). Além disso, a dependência dessas soluções proprietárias pode limitar a flexibilidade na adaptação dos sistemas às necessidades específicas de cada negócio, dificultando a integração com dispositivos de diferentes fabricantes e aumentando os custos.

A conexão cabeada entre dispositivos e os servidores pode requerer uma complexa infraestrutura para a passagem de cabos e integração à rede, exigindo investimentos consideráveis em cabeamentos, crimpagens de terminais, eletrocalhas

ou dutos, suportes aéreos, switches, roteadores e outros dispositivos de comunicação. Como na indústria os cabeamentos geralmente são instalados na parte aérea dos maquinários, principalmente por oferecer melhor proteção e organização, devemos pensar também na utilização de plataformas elevatórias ou sistemas de elevação para instalar e realizar manutenções no sistema. A necessidade de uma infraestrutura física muito complexa pode prolongar o tempo necessário para instalação, modificações e manutenção do sistema (TECNOIMS, 2024).

Muitos sistemas de gerenciamento de produção disponíveis no mercado, como o SAP, costumam oferecer pouca flexibilidade de personalização e restrições de compatibilidade com dispositivos de diferentes fabricantes ou protocolos. Limitando a capacidade de adaptação do projeto as necessidades e expectativas reais das empresas. Como consequência, empresas menores enfrentam desafios para se manterem competitivas e acabam recorrendo a alternativas mais acessíveis, como planilhas e Excel, que podem não ser muito eficientes, pois é muito comum erros de manipulação de dados, não é desenhado para trabalho simultâneo entre várias pessoas, não se tem um bom registro das alterações, depende de formulas que podem ser alteradas por equívocos, não é ideal para grandes volumes de dados, podendo ocorrer travamentos e o corrompimento de dados (DATTOS, 2023).

O processo de solicitação de apoio técnico no ambiente fabril também pode ser lento e ineficiente. Cada empresa adota seu próprio procedimento, mas, geralmente, a solicitação é feita por meio da busca direta pelos técnicos ou por ligações telefônicas. Podendo resultar em atrasos na resposta, dificultando a rápida identificação e resolução de problemas. Algumas empresas em que por motivo de sigilo industrial não autorizam o uso de aparelhos celulares nas áreas produtivas. O que gera desafios para implementar soluções que agilizem este de contatar apoio técnico (STRASBURG et. al, 2014).

A ausência de uma interface centralizada que integre todos os maquinários da empresa dificulta o monitoramento contínuo da produção, resultando em obtenção de informações fragmentadas e exigindo a presença constante dos gestores. Comprometendo a tomada de decisão, a prevenção de falhas e a otimização de processos.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um protótipo que assegure uma comunicação eficiente entre os dispositivos, permitindo que o operador visualize e insira informações em um display interativo, além de possibilitar um monitoramento eficaz pelas equipes de supervisão por meio de um sistema supervisão. Dessa forma, busca-se oferecer uma visualização clara e intuitiva das informações essenciais do processo produtivo nos maquinários monitorados.

Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Implementar a integração física e elétrica entre os dispositivos.
- Desenvolver e configurar a programação dos dispositivos utilizando softwares e hardwares determinados.
- Projetar a arquitetura de comunicação baseada nos protocolos Modbus e Wi-Fi.
- Desenvolver uma interface gráfica interativa e que apresente uma visão ampla do processo.
- Assegurar a transmissão e exibição em tempo real dos dados coletados.

1.4 Organização do trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Apresenta a introdução, as justificativas, a definição do problema e a organização do trabalho.

Capítulo 2 – Aborda o referencial teórico, iniciando com uma introdução à Indústria 4.0 e a pirâmide de automação industrial. Em seguida, é explorado as oportunidades proporcionadas pela automação nos diversos setores de uma empresa. Também discute a complexidade da implementação de uma estrutura de comunicação cabeada em contraste com a evolução dos protocolos de comunicação sem fio. Além disso são apresentados dois trabalhos relacionados ao tema.

Capítulo 3 – Descreve a metodologia utilizada, incluindo a apresentação dos hardwares e softwares empregados, a arquitetura física e de comunicação do projeto, os protocolos de comunicação adotados, a integração entre o PLC e o ESP32.

Também é apresentado como foi feita a alimentação elétrica dos dispositivos, a programação do PLC, a configuração do ESP32 para receber sinais do PLC, o desenvolvimento de telas no display Nextion, a comunicação entre o ESP32 e o display Nextion, a criação das telas no Visual Studio e a comunicação entre o supervisor desenvolvido no Visual Studio e o ESP32.

Capítulo 4 – Apresenta os resultados e a discussão. Inicialmente, são apresentados os resultados finais obtidos, seguidos pelos testes de validação, as dificuldades encontradas e uma análise comparativa de custos entre a implementação do protótipo e um sistema alternativo baseado em conexão cabeada e uma IHM Siemens.

Capítulo 5 – Apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para pesquisas e desenvolvimentos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Durante este capítulo será abordado a Indústria 4.0, a pirâmide de automação, os benefícios da automação nos setores industriais, os desafios da comunicação cabeada e sem fio, além da análise de trabalhos relacionados.

Atualmente, vivemos um período de intensa evolução tecnológica, impulsionada pelo avanço de dispositivos móveis, Internet, inteligência artificial, assistentes por comando de voz e realidade aumentada. Esse desenvolvimento também impactou profundamente o setor industrial, transformando a forma como as empresas produzem e definem suas estratégias. Novas tecnologias têm possibilitado a criação de modelos de produção mais seguros, lucrativos, sustentáveis e eficientes. Empresas do setor industrial tem investido fortemente na modernização de seus processos produtivos, adotando tecnologias como QR-Code, código de barras, RFID, sensores e câmeras inteligentes, monitoramento remoto por dispositivos móveis, comunicação sem fio, impressão 3D, realidade aumentada, softwares de simulação 3D, sistemas CAD-CAM e ferramentas especializadas para cálculos e dimensionamentos complexos que, anteriormente, exigiam grande esforço (CNN, 2023).

O uso destes avanços tecnológicos na indústria originou o que chamamos de “Indústria 4.0” ou Quarta Revolução Industrial. Segundo artigo publicado pela BOSCH (2021):

“A Indústria 4.0 também chamada de Quarta Revolução Industrial, une um amplo sistema de tecnologias avançadas como Inteligência Artificial (IA), robótica, Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem que estão mudando as formas de produção e os modelos de negócios no Brasil e no mundo”

A tabela 1 apresenta uma visão geral das diferentes etapas, revoluções, na indústria. A primeira revolução foi marcada pelo uso das máquinas a vapor, que ampliaram a capacidade dos serviços mecânicos repetitivos e pesados, além de avanços no transporte de pessoas e cargas. A segunda revolução se deu graças ao desenvolvimento da eletricidade, permitindo a utilização de transformadores, motores, comandos valvulados e relés, o que possibilitou a criação de controladores inteligentes e reduziu a complexidade de controles. A terceira revolução se deu com

a introdução dos semicondutores, microcontroladores, robôs, CNCs e os avanços na telecomunicação e impulsionaram fortemente a automação industrial. Por fim, a quarta revolução de destaca pela integração da tecnologia da informação e automação. A automação contribui tanto para redução de desperdícios, custos operacionais e aumento da produtividade quanto para a melhoria na qualidade dos produtos, enquanto que a tecnologia da informação é imprescindível para a coleta, armazenamento, tratamento e análise dos dados (SCHWAB, 2016, p.19-21).

Tabela 1: Etapas da Revolução Industrial

Revolução Industrial	Período	Principais Avanços Tecnológicos
1 ^a Revolução Industrial	1760 – 1840	Criação de ferrovias e máquinas a vapor.
2 ^a Revolução Industrial	1840 – 1913	Desenvolvimento da eletricidade, linhas de montagem e dispositivos valvulados.
3 ^a Revolução Industrial	1913 – 1995	Desenvolvimento de semicondutores, microcontroladores, computadores, robôs industriais, inversores de frequência, telecomunicações e Internet.
4 ^a Revolução Industrial	1995 – atual	Internet das Coisas (IoT), RFID, aprendizado de máquina, Big Data, computação em nuvem, inteligência artificial, dispositivos autônomos e realidade aumentada/virtual.

Fonte: Adaptado de Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2022.

Outro conceito importante é o da Pirâmide da Automação Industrial que é utilizado para representar graficamente os níveis de automação na indústria que vão desde o controle físico dos processos até a gestão empresarial estratégica. A figura 1 apresenta a sua estrutura. A primeira camada é chamada de CAMPO e é composta pelos equipamentos, sensores e atuadores presentes no processo. A segunda é a camada de CONTROLE, sendo composta por controladores, PLCs, CNCs e robôs, que através de uma lógica de programação, realiza a interpretação dos sinais de entrada comanda saídas para controlar o processo de forma eficaz. A terceira é a camada de SUPERVISÃO - SCADA, que possibilita uma visualização gráfica dos dados do processo permitindo a supervisão e monitoramento do processo. A quarta camada é a de Gerenciamento das Informações - MES e PMS, em que há a gestão

de dados para níveis mais altos da organização, ajudando a otimizar a produção e manter fluxos de informações do processo produtivo para o nível empresarial. A quinta é a camada Corporativa - ERP, que é um sistema de gestão integrado que otimiza processos empresariais, auxiliando no planejamento e tomada de decisões estratégicas (adaptado de OLIVEIRA et al. 2024, p.4-8).

Figura 1: Pirâmide da automação.



Fonte: Adaptado de Rahman et al. (2021).

A seguir, são apresentadas oportunidades para a implementação de tecnologias de automação em diferentes setores da empresa:

Produção e Logística: Obtenção de dados confiáveis em tempo real da quantidade de peças produzidas, saldo de produção, disponibilidade de matéria-prima na linha de produção e no estoque, tempo de ciclo produtivo e o status instantâneo dos maquinários, indicando se estão parados para realização de setup, manutenção ou por problemas de qualidade.

Manutenção: Auxiliar no monitoramento contínuo de sensores de nível, temperatura, pressão, vazão, ruídos, gases, velocidade, tensão, corrente e potência elétrica. Como também no acionamento das equipes de suporte técnico, que podem monitorar através de telas e receber avisos de problemas vindo dos setores envolvidos, o registro da execução de serviços, o acompanhamento do desgaste e o tempo de funcionamento do maquinário. Além disso, possibilita a inserção de cartões TPMs pelos operadores (utilizados para solicitar reparos que podem ser feitos de forma programada, sem causar paradas de produção).

Segurança do Trabalho e Patrimonial: A tecnologia viabiliza o monitoramento de ruídos industriais, luminosidade nos postos de trabalho, detecção de gases inflamáveis ou nocivos, sensores de incêndio e o gerenciamento de extintores e dispositivos de emergência. Também permite melhorar a gestão de EPIs com base na demanda produtiva e emitir alertas para evacuação em situações de emergência.

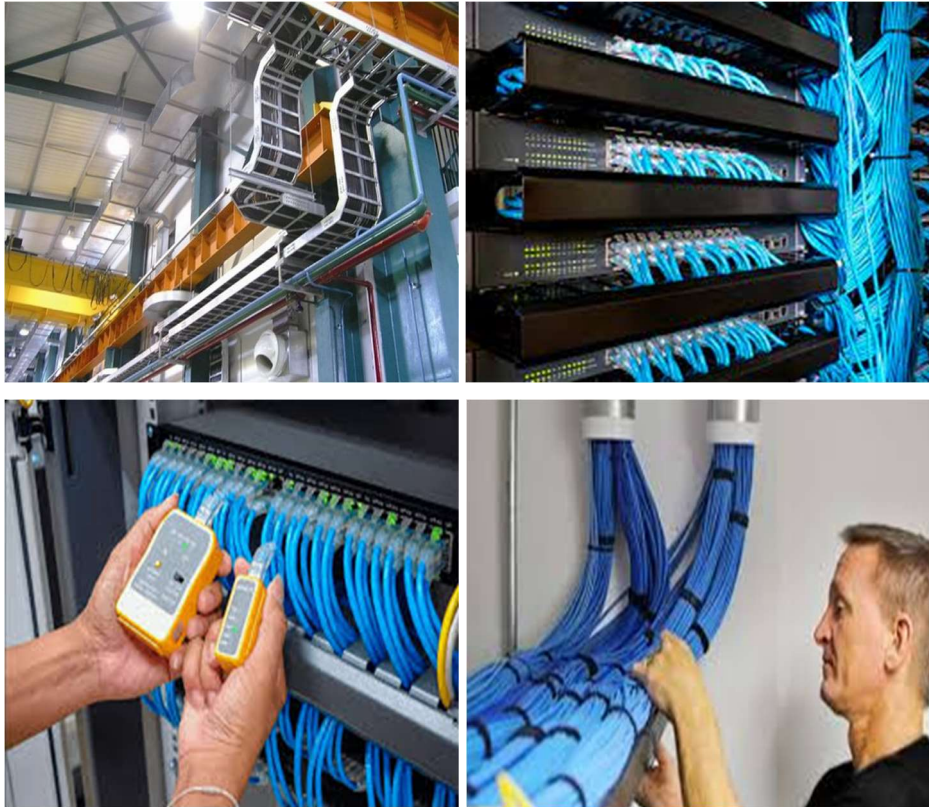
Qualidade: Destacam-se as possibilidades de monitoramento de refugos e retrabalhos, rastreamento de lotes de matéria-prima em produção, monitorar ferramentas que por norma necessitam ser calibrados periodicamente, documentar o registro automatizado de parâmetros de máquinas e controle de pessoal qualificado para operar o maquinário. Além disso, há a gestão dos parâmetros de maquinário e dos dispositivos que exigem calibração periódica controlada.

Engenharia, Comercial, RH e Custos: Existem possibilidades de acompanhar o desempenho individual e coletivo, obtenção de dados detalhados sobre o processo produtivo e otimização do controle de custos e aquisições.

Diretoria: Pode aprimorar o monitoramento estratégico de resultados e o monitoramento de indicadores, agilizando processos envolvidos na tomada de decisões, planejamento de expansões e análise de investimentos.

A figura 2, apresenta como pode ser complexo montar uma estrutura de sistema cabeado, principalmente quando estamos lidando com de indústrias que possuem grande quantidade de maquinários. Sendo um trabalho que pode ser demorado, necessitar de grande quantidade de materiais, ter montagens complexas e necessitar de mão de obra especializada. Podendo ser complexo realizar modificações futuras (TECNOIMS, 2024).

Figura 2: Estruturas para passagem de cabos de potência e comando.



Fonte: Powerplant; Tekdistribuidor, Dutotec; Datatekav, 2025

Os sistemas Wi-Fi industriais têm ganhado grande destaque devido aos avanços tecnológicos. A tabela 2 apresenta uma análise comparativa da família dos protocolos de comunicação Wi-Fi. Tendo um grande destaque no aumento da velocidade máxima teórica, que evoluiu de 2 Mbps no protocolo 802.11 em 1997, para 46 Gbps no protocolo 802.11be em 2024 (BRAGA, MARQUES, 2023). Esse avanço demonstra a contínua evolução dessas tecnologias, e a tendência do protocolo Wi-Fi se tornar atrativo para aplicações industriais, que geralmente já possuem uma boa estrutura de acesso à internet. Existem outros protocolos de comunicação sem fio, como o 802.15, que incluem tecnologias como Bluetooth, Zigbee, Wireless Hart e Wisa. Embora sejam tecnologias avançadas, apresentam desvantagens por serem redes desenvolvidas para curtas distâncias (RONCHI, 2020).

Tabela 2: Comparação entre protocolos Wi-Fi IEEE 802.11

Padrão	Ano	Freq. (GHz)	Largura de Banda (MHz)	Velocidade Máxima Teórica (Mbps)	Modulação	MIMO	Observações
802.11 (Legado)	1997	2,4	20	2	DSSS/FHSS	Não	Primeiro padrão Wi-Fi.
802.11a	1999	5	20	54	OFDM	Não	Menos interferência que 802.11b, mas menor alcance.
802.11b	1999	2,4	20	11	DSSS	Não	Popularizou o Wi-Fi, mas sujeito a interferência.
802.11g	2003	2,4	20	54	OFDM	Não	Compatível com 802.11b, mas mais rápido.
802.11n	2009	2,4 e 5	20 e 40	600	OFDM	Sim (4×4)	Primeiro com MIMO e uso de múltiplas antenas.
802.11ac Onda 1	2013	5	80	1300	OFDM	Sim (4×4)	Maior largura de banda e eficiência.
802.11ac Onda 2	2016	5	80 e 160	3500	OFDM	Sim (8×8)	Introduziu MU-MIMO para múltiplos dispositivos.
802.11ax (Wi-Fi 6)	2019	2,4 e 5	20, 40, 80 e 160	9600	OFDMA	Sim (8×8)	Melhor eficiência e suporte a múltiplos dispositivos.
802.11be (Wi-Fi 7)	2024	2,4, 5 e 6	320	46000	OFDMA + 4096-QAM	Sim (16×16)	Latência ultrabaixa, Multi-Link Operation (MLO), maior eficiência.

Fonte: Adaptado de BRAGA et al., 2023.

A escolha de comunicação utilizando sistemas cabeados e sem fio torna-se cada vez mais complexa, pois ambos possuem vantagens e desvantagens. A tabela 3 apresenta uma comparação simplificada entre essas tecnologias, auxiliando na análise de suas características. Com os avanços tecnológicos, especialmente no Wi-Fi, é possível que, no futuro, algumas limitações atuais sejam superadas. De modo geral, o Wi-Fi apresenta vantagens por necessitar de menos componentes físicos, mas enfrenta desafios como oscilações de sinal, congestionamento de dados, maior suscetibilidade a interferências e a necessidade de um sistema de firewall robusto. Por outro lado, as redes cabeadas, embora mais estáveis, apresentam desvantagens como custo inicial elevado, maior tempo para implantação da infraestrutura física e desafios na escalabilidade e reconfiguração do layout (CURTI, 2022).

Tabela 3: Comparação sistema cabeado x Wi-Fi

Critério	Cabeado (Ethernet)	Wi-Fi
Custo inicial	Alto, devido à necessidade de infraestrutura física, como cabos, switches e racks.	Menor, pois requer menos componentes físicos e infraestrutura simplificada.
Durabilidade e robustez	Alta durabilidade e estabilidade, com menor suscetibilidade a interferências, sendo ideal para aplicações que exigem alta confiabilidade.	Mais suscetível a interferências e variações de sinal, o que pode comprometer a estabilidade em ambientes industriais.
Tempo de instalação	Maior, devido à necessidade de instalação física de cabos e equipamentos.	Mais rápido e simplificado, devido à ausência de cabeamento físico extenso.
Velocidade e consistência	Oferece velocidades constantes e alta confiabilidade na transmissão de dados.	Pode apresentar oscilações de velocidade e latência devido a interferências e limitações de banda.

Segurança contra ataques cibernéticos	Alta, devido à natureza fechada da rede física, dificultando acessos não autorizados.	Requer medidas adicionais de segurança, como criptografia e autenticação robusta, devido à natureza aberta do meio de transmissão.
Escalabilidade (expansão)	Pode ser mais complexa e custosa, exigindo planejamento e instalação adicional de infraestrutura física.	Geralmente mais simples e econômica, permitindo facilmente a adição de novos dispositivos à rede.
Alteração de layout (mobilidade)	Menos flexível, com alterações de layout demandando tempo e custos adicionais devido ao cabeamento fixo.	Alta flexibilidade, permitindo mudanças rápidas no layout e fácil mobilidade dos dispositivos.

Fonte: Adaptado de CURTI, 2022.

O protótipo foi desenvolvido com o objetivo de utilizar recursos de IoT, explorando soluções que atendam às necessidades de diversos setores da empresa. A comunicação entre os dispositivos de campo e o sistema supervisor é realizada por meio do protocolo Wi-Fi, com a possibilidade de adaptação para uma rede cabeada ou uma infraestrutura híbrida que combine ambas as tecnologias. Em relação à pirâmide de automação, o protótipo abrange as camadas de campo, controle e supervisão. Ele será responsável por coletar dados diretamente dos controladores ou sensores no campo e disponibilizar essas informações aos usuários por meio de telas interligadas aos maquinários e um sistema supervisor.

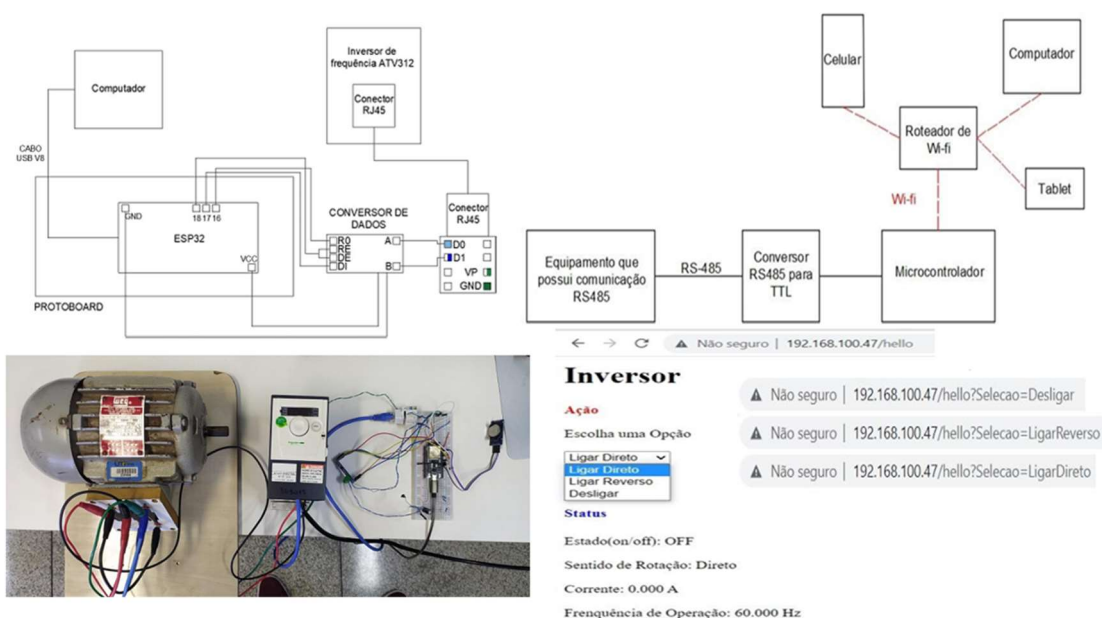
2.1 Trabalhos relacionados

Neste capítulo, serão apresentados dois trabalhos que serviram de inspiração para a realização do projeto. O primeiro utilizou o microcontrolador ESP32 para estabelecer comunicação com um inversor de frequência. O segundo abordou a coleta de dados de maquinário, com o objetivo de disponibilizar as informações em dispositivos Android.

TCC: Uso do microcontrolador ESP32 para monitoramento e operação de um inversor de frequência via rede Wi-Fi. Heracto Mychajló Chruscinski Voigt. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

O trabalho apresentou uma conexão entre um inversor de frequência e um ESP32, utilizando Wi-Fi e um conversor de comunicação RS-485. Dessa forma, foi possível enviar comandos e realizar o monitoramento remoto do acionamento de um motor elétrico. A figura 3 ilustra uma visão resumida do trabalho, destacando os pontos principais, como o esquemático de interligação entre os dispositivos. O conversor RS-485 para TTL foi utilizado para estabelecer a comunicação entre o inversor de frequência e o ESP32, enquanto a comunicação Wi-Fi permitiu a exibição e interação com o sistema por meio de computador e celular, desde que conectados à rede configurada. Além disso, para a execução dos comandos, foi utilizada uma janela de seleção, na qual, ao clicar na opção desejada, um comando HTTP é gerado, enviando uma mensagem ao servidor e acionando a lógica de controle do motor.

Figura 3: Uso do microcontrolador ESP32 para monitoramento e operação de um inversor de frequência por rede Wi-Fi.



Fonte: VOIGT, 2022.

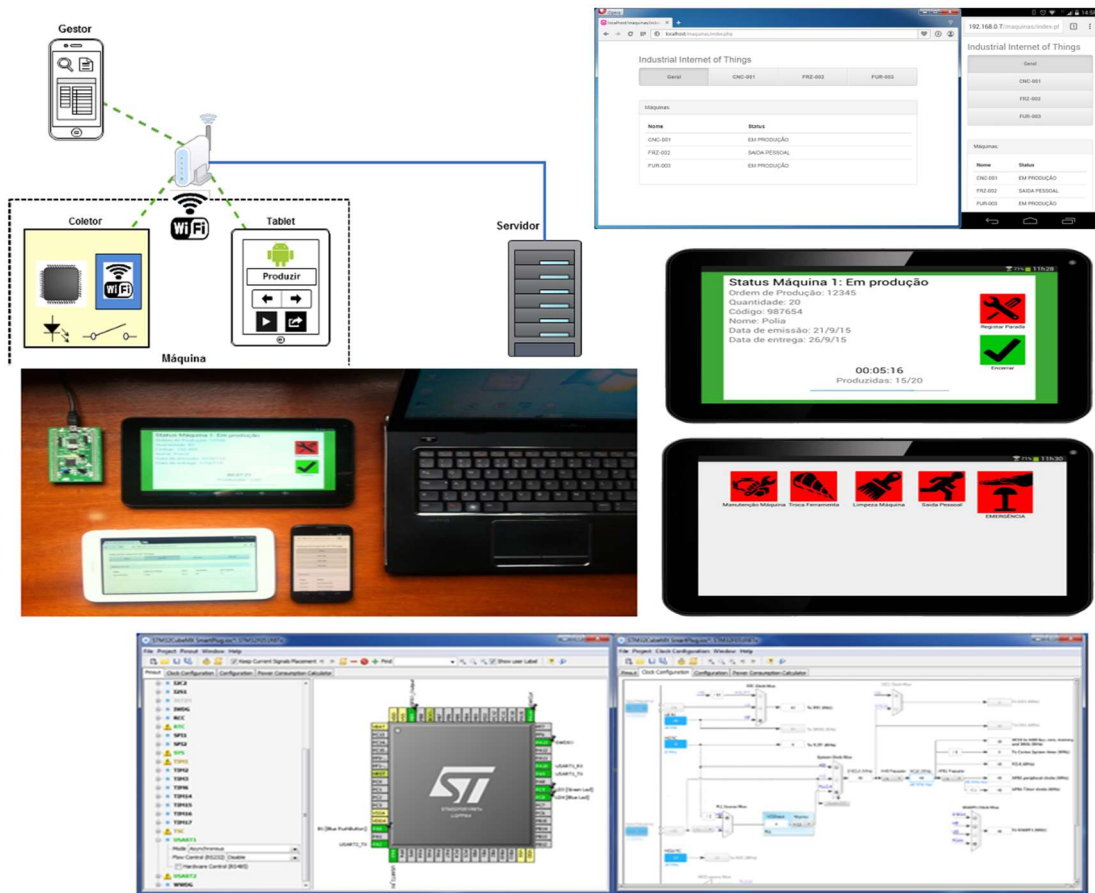
O estudo deste trabalho foi interessante e inspirou aplicação uso de Wi-Fi do ESP32 em um dispositivo industrial. Sendo observado pontos que poderiam ser

aprimorados, como utilizar uma interface gráfica mais robusta e que seja mais completa. Gerenciar vários maquinários como um todo.

TCC: Projeto e aplicação de um sistema de coleta de dados em tempo real para indústria. Guilherme Dos Santos Thomé. Universidade de Caxias do Sul – UCS – 2015.

O trabalho apresentou o sistema desenvolvido para o monitoramento remoto de um maquinário por dispositivos Android, utilizado um microcontrolador ARM. Sendo desenvolvida uma boa interface gráfica e facilidade de acesso monitoramento, devido a utilização do sistema Android ser uma plataforma de programação presente em muitos celulares e dispositivos móveis. A figura 4 demonstra uma visão resumida do trabalho, sendo retirados os pontos principais. Podemos observar que foi realizado um monitoramento do status do maquinário, abertura de ordens de produção, solicitação de troca de ferramentas e informar emergências. Sendo possível visualizar todos os dispositivos monitorados através de uma por uma página HTML.

Figura 4: Projeto e aplicação de um sistema de coleta de dados em tempo real para indústria



Fonte: THOMÉ, 2015.

O estudo deste trabalho foi interessante e devido a apresentar uma visão geral das máquinas monitoradas e disponibilizar funcionalidades importantes ao operador do maquinário. Foi pensado em aprimorar funcionalidades de contador de produção, retrabalho, refugo, solicitação de matéria prima e chamada de apoio técnico. Utilizando uma arquitetura diferente, mais habitual aos conteúdos aprendidos nas disciplinas contidas no curso.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os componentes e softwares utilizados, a programação para comunicação entre os dispositivos, o desenvolvimento do display Nextion e a criação do supervisor no Visual Studio.

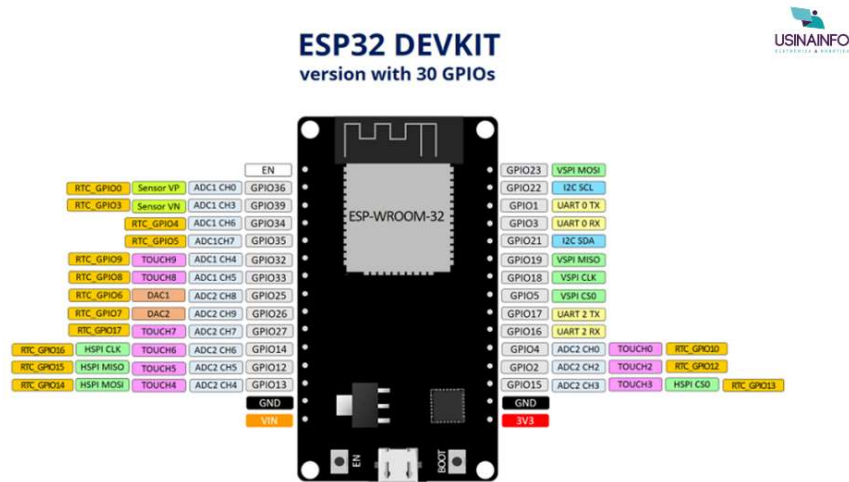
3.1 Materiais e ferramentas utilizadas

Será apresentada a descrição dos dispositivos físicos e dos softwares utilizados no desenvolvimento do protótipo. Entre os hardwares, destacam-se o ESP32, a tela Nextion, o PLC, o computador, o roteador Wi-Fi e as fontes de alimentação. Já os softwares empregados incluem o Arduino IDE, o Nextion Editor, o Visual Studio 2022 e o TIA Portal.

3.1.1 Hardware

ESP32: É um microcontrolador da família do Arduino, desenvolvido pela Espressif Systems, se destacando pelo ótimo desempenho, baixo custo de aquisição, boas opções de conectividade e avançado controle de eficiência energética. Equipado com um processador dual-core, memória RAM integrada, suporte a armazenamento Flash SPI, conectividade Wi-Fi 802.11b/g/n e Bluetooth Classic/BLE. Isso permite sua integração com uma ampla variedade de periféricos e interfaces, como GPIOs, PWM, ADC/DAC, SPI, I2C, I2S, UART e CAN, além do suporte a protocolos industriais como Modbus TCP/IP (ESPRESSIF, 2025). A figura 5 apresenta a pinagem do EPS32 e as diversas formas como podemos programa-las.

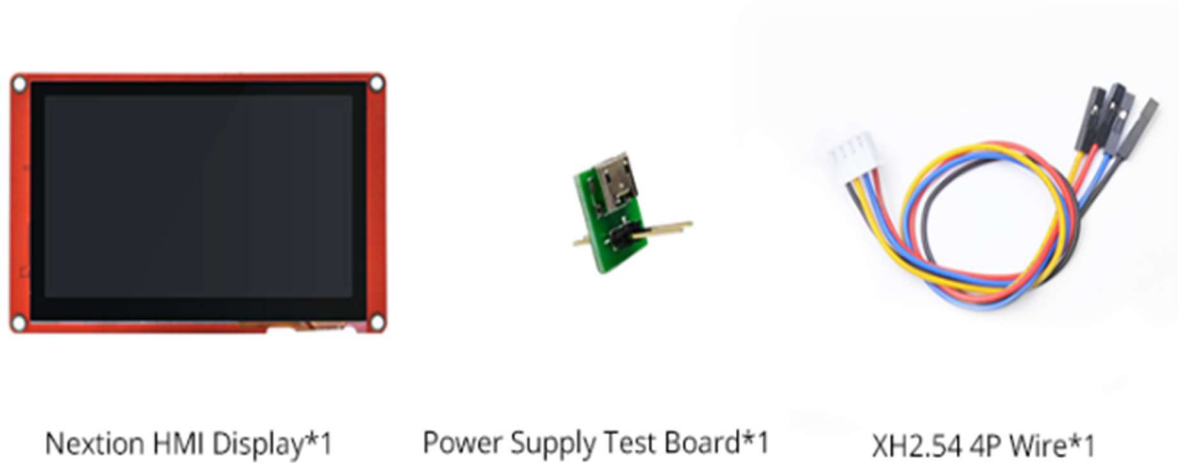
Figura 5: Visão geral de um ESP32.



Fonte: Usinainfo, 2019.

TELA NEXTION: É uma tela touchscreen inteligente projetada para simplificar a criação de interfaces gráficas em sistemas embarcados. Diferente de telas convencionais, ela possui um processador integrado que gerencia toda a exibição e a lógica da interface, aliviando a carga de processamento do microcontrolador principal. A comunicação entre o Nextion e o microcontrolador ocorre de forma simples através da porta UART (serial), permitindo o envio e recebimento de comandos de maneira eficiente (NEXTION, s.d.). A figura 6 apresenta uma visão geral do kit de tela Nextion.

Figura 6: Display Nextion.



Fonte: Komputer, 2022.

PLC: É um componente fundamental na automação industrial, muito utilizado para controlar máquinas e processos de forma automatizada e eficiente. Ele substitui sistemas antigos baseados em relés e válvulas, proporcionando maior conectividade, confiabilidade e facilidade no desenvolvimento de projetos e diagnóstico de falhas.

No projeto, foi utilizado o Siemens S7-1200, figura 7, um dos PLCs mais populares do mercado, amplamente reconhecido por sua robustez, versatilidade e integração facilitada em sistemas industriais. Ele permite uma comunicação eficiente com sensores, atuadores, IHMs e sistemas supervisórios, além de oferecer alto desempenho, resposta rápida e proteção para entradas e saídas. Possui interface intuitiva e estrutura modular expansível, garantindo maior flexibilidade e escalabilidade ao sistema (dados obtidos em SIEMENS).

Figura 7: PLC Siemens S7-1200.



Fonte: Siemens, 2013.

COMPUTADOR: Para a execução do sistema supervisório, é necessário um computador com sistema operacional Windows de 64 bits, processador i3 ou superior, e uma placa de rede que suporte os padrões 802.11n, ac ou ax. Em um ambiente industrial, pode-se instalar telas nos principais setores da empresa, facilitando a visualização e a interação dos usuários com as informações coletadas e exibidas em tempo real.

ROTEADOR WI-FI CONECTADO À REDE ETHERNET: Para garantir o acesso dos dispositivos a internet é necessário que o roteador que tenha suporte aos padrões 802.11n, ac ou ax, garantindo uma conexão estável e de alta velocidade para

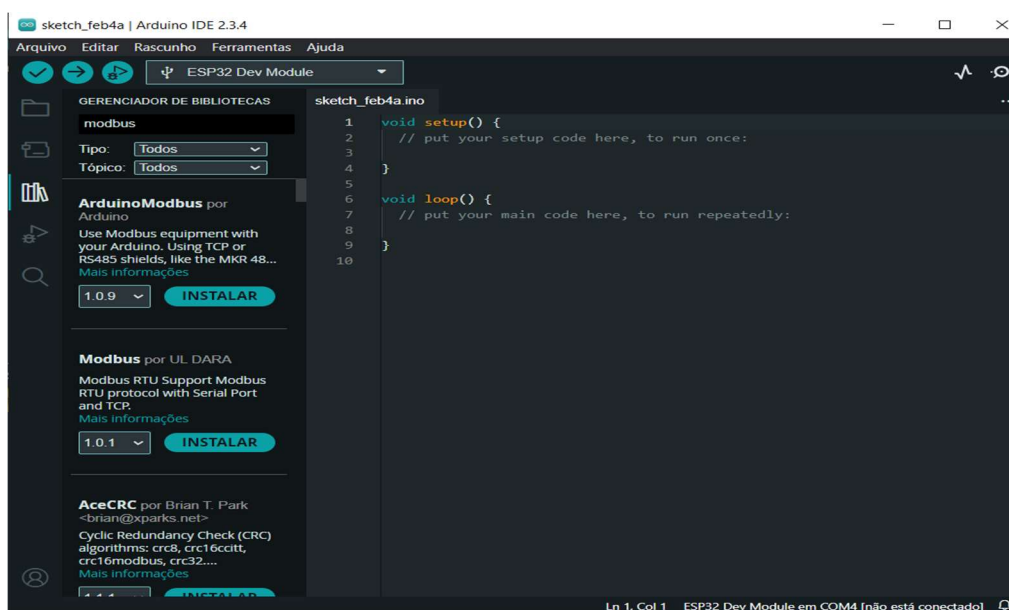
a comunicação entre os dispositivos. É recomendável tenha capacidade para operar em bandas de 2,4 GHz e 5 GHz, permitindo uma maior flexibilidade e desempenho em ambientes industriais com múltiplos dispositivos conectados simultaneamente.

FONTES: Responsável realizar a alimentação elétrica dos dispositivos. Para o PLC foi necessário utilizar uma fonte alimentada em 120 Vca e fornecendo 24 Vdc. Para alimentar o ESP32 e a tela Nextion, foi utilizado uma fonte 120 Vca que fornece 5 Vdc e 2A.

3.1.2 Softwares

ARDUINO IDE: Permite programar diversos microcontroladores e foi utilizado para criar o algoritmo utilizado no ESP32. É um ambiente de desenvolvimento de código aberto. Possui uma interface simples e intuitiva, permitindo escrever, compilar, monitorar e enviar códigos para o microcontrolador de forma prática, utilizando uma linguagem baseada em C/C++. Além disso, ele conta com uma grande variedade de bibliotecas que facilitam a comunicação com sensores, módulos e outros componentes eletrônicos, tornando o desenvolvimento acessível e eficiente. Seu layout foi apresentado na figura 8.

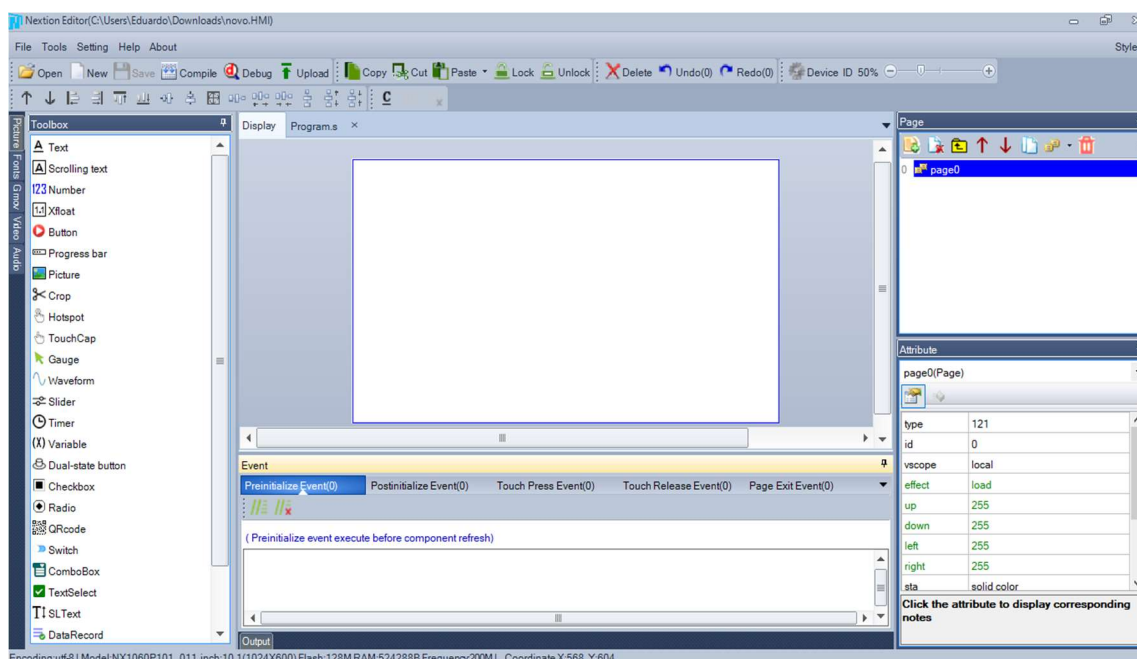
Figura 8: Arduino IDE.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

NEXTION EDITOR: Trata-se de uma ferramenta intuitiva que simplifica a criação e configuração de interfaces gráficas nos displays Nextion. Com uma ampla variedade de recursos, é possível adicionar botões, campos de texto, textos deslizantes, barras interativas, potenciômetros, imagens, áudios e vídeos, além de incorporar scripts para funcionalidades personalizadas, reduzindo a carga de processamento dos microcontroladores externos. O layout é apresentado na figura 9. A comunicação ocorre por meio da porta serial, permitindo a troca de dados entre o microcontrolador e a tela Nextion. Dessa forma, é possível modificar propriedades dos elementos, como valor, cor, fonte e posição. Além disso, ao acionar botões, comandos podem ser enviados pela serial para serem lidos e interpretados pelo microcontrolador.

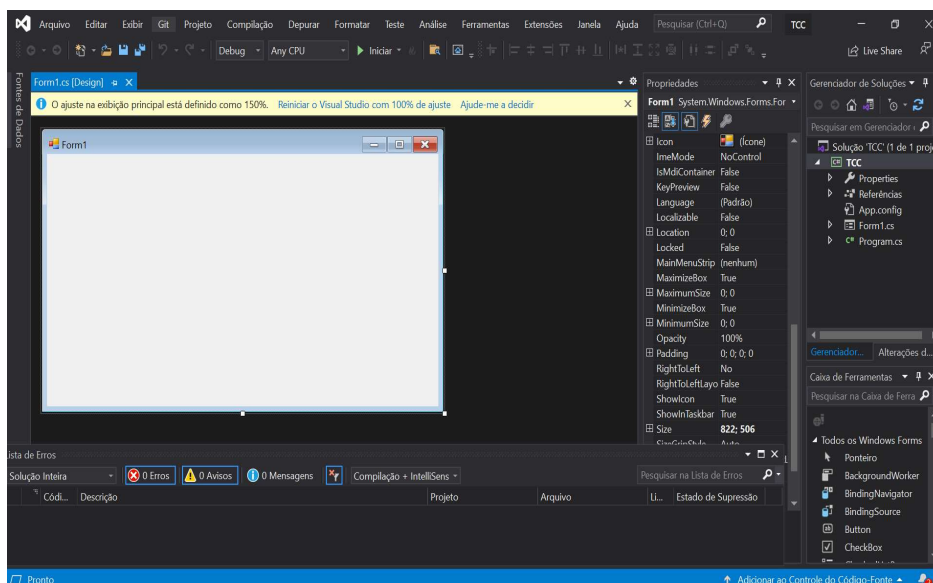
Figura 9: Software Nextion Editor.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

VISUAL STUDIO 2022: É uma poderosa ferramenta de desenvolvimento que em variadas plataformas, sendo possível utilizar diversas linguagens de programação e bibliotecas que permitem realizar diversas aplicações. Possibilitando a criação de aplicações para Windows, Linux, macOS e Android. Seu layout foi apresentado na figura 10.

Figura 10: Visual Studio.

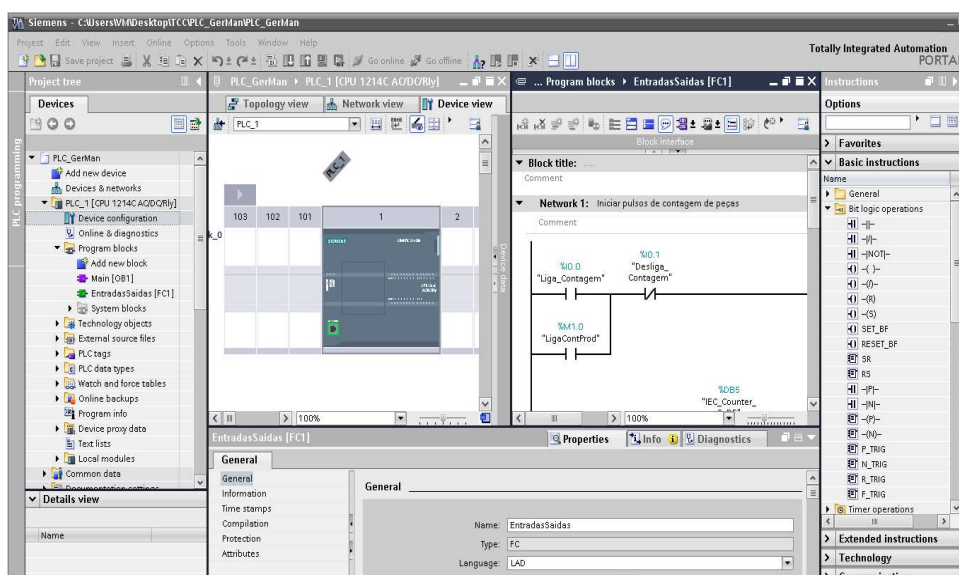


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

TIA PORTAL - TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL: O TIA

Portal é uma ferramenta desenvolvida pela Siemens para a programação, configuração e diagnóstico de uma ampla variedade de dispositivos de automação industrial. Ele oferece suporte a diversas linguagens de programação, como Ladder, Blocos Funcionais e Texto Estruturado, além de permitir a configuração de IHMs, drives e redes industriais, incluindo PROFINET e Modbus TCP/IP. O layout foi apresentado na figura 11.

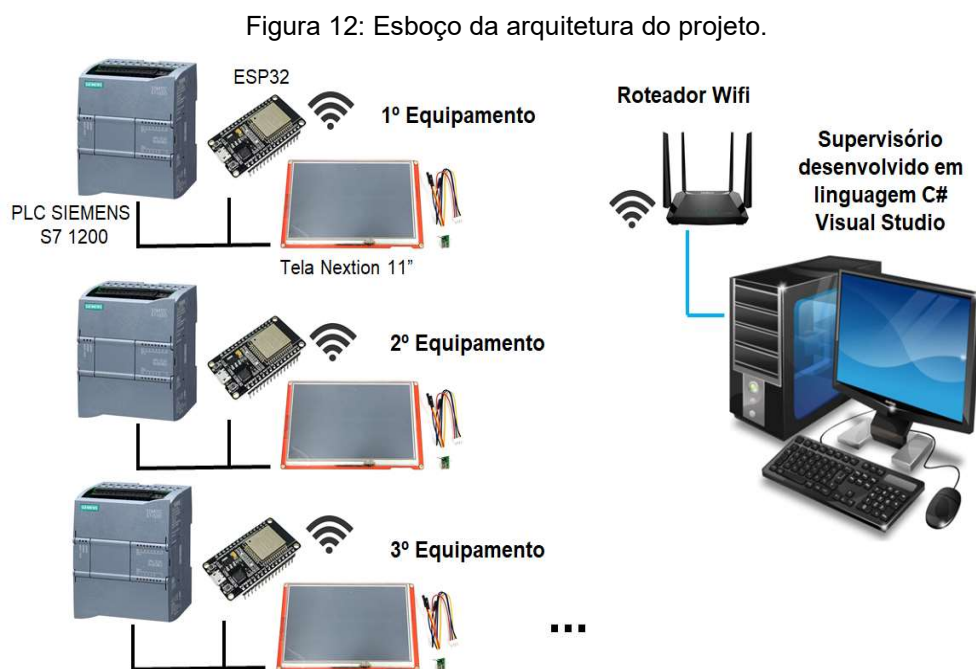
Figura 11: TIA PORTAL V13.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2 Arquitetura do projeto

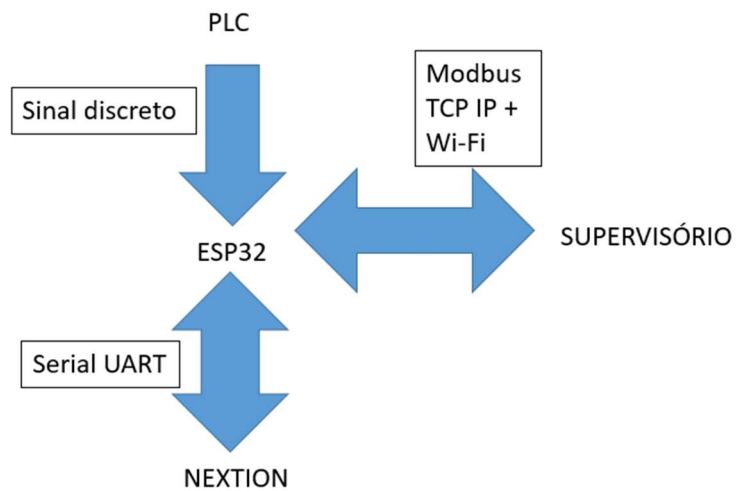
A Figura 12 apresenta uma visão geral da arquitetura do sistema desenvolvido. Nela, é possível observar o ESP32 recebendo dados do PLC e da tela Nextion, e transmitindo essas informações ao sistema supervisorio por meio dos protocolos Wi-Fi e Modbus TCP/IP. O roteador, por sua vez, é responsável por estabelecer a comunicação entre os dispositivos através da Internet.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A Figura 13 ilustra a comunicação entre os dispositivos. O processo começa com o PLC, que coleta os dados gerados pelo maquinário e os envia ao ESP32 por meio de sinais discretos. Simultaneamente, o ESP32 se comunica com o display Nextion através da porta serial UART, tanto enviando quanto recebendo dados. A transmissão sincronizada dos dados é realizada para envio ao sistema supervisorio, utilizando os protocolos de comunicação Wi-Fi e Modbus TCP/IP.

Figura 13: Comunicação entre dispositivos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.3 Protocolos de comunicação

Serial UART: O UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) é um protocolo de comunicação serial assíncrona amplamente utilizado para a troca de dados entre dispositivos eletrônicos. Ele opera com dois fios principais: TX (transmissão) e RX (recepção), enviando dados sem a necessidade de um clock compartilhado. A comunicação segue um formato estruturado com bits de start, dados, paridade (opcional) e stop, sendo necessário configurar uma taxa de transmissão (Baud Rate) igual em ambos os dispositivos. Simples e eficiente, o UART é comumente utilizado em microcontroladores, sensores e módulos eletrônicos (SHIN 2020).

Wi-Fi: É um protocolo de comunicação sem fio baseado no padrão IEEE 802.11, permitindo a transmissão de dados por ondas de rádio em frequências como 2,4 GHz e 5 GHz. Ele utiliza um esquema de modulação avançado e protocolos de segurança, como WPA2 e WPA3, para garantir conexões estáveis e protegidas. A comunicação ocorre por meio de um roteador ou ponto de acesso, possibilitando a conexão de múltiplos dispositivos em redes locais e a integração com a Internet. Devido à sua alta velocidade e alcance, o Wi-Fi é amplamente utilizado em automação, IoT e sistemas embarcados, como o ESP32, que possui suporte nativo

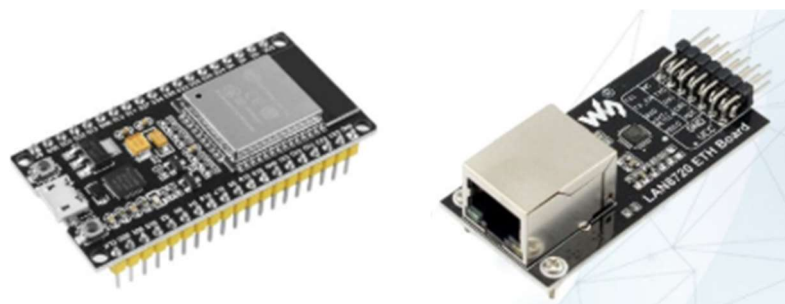
ao protocolo (BRAGA et.al., 2023).

MODBUS TCP/IP: É uma versão do protocolo Modbus adaptada para redes Ethernet, permitindo a comunicação entre dispositivos industriais por meio do protocolo TCP/IP. Ele segue o modelo cliente-servidor, onde o cliente envia solicitações e o servidor responde com os dados requisitados. O Modbus TCP/IP mantém a estrutura simples do Modbus RTU, substituindo a camada de comunicação serial por uma rede Ethernet, proporcionando maior velocidade e alcance. Esse protocolo é amplamente utilizado em automação industrial para a integração de PLCs, sensores, atuadores e sistemas supervisórios, como SCADA e IHMs (BERTOLETI, 2025).

3.4 Comunicação entre Plc e Esp32

Durante o desenvolvimento do projeto, foi planejada a implementação da comunicação Modbus TCP/IP no TIA Portal, conectando o ESP32 ao PLC por cabo de rede RJ45 e utilizando a interface LAN8720, figura 14. No TIA Portal, foram configurados blocos para o envio e recebimento de dados pelo Modbus, porém, surgiram dificuldades na configuração e depuração da comunicação.

Figura 14: ESP32 e LAN8720.



Fonte: Adaptado de Crescer Automação, 2021.

Como alternativa, testou-se o WT32-ETH01, figura 15, um microcontrolador baseado no ESP32 com porta Ethernet integrada. No entanto, após várias tentativas, percebeu-se que a solução exigiria um tempo maior de pesquisa e desenvolvimento devido à sua complexidade e características específicas.

Figura 15: WT32-ETH01.



Fonte: Mercado Livre, 2025.

Diante disso, optou-se por uma comunicação por sinais discretos que é uma maneira simples e muito funciona. Para isso, o GND do ESP32 foi ligado ao terminal comum das saídas do PLC e foi configurado as entradas do microcontrolador como INPUT_PULLUP. Pensando em uma aplicação em que saída do PLC tivesse que se manter em 24 Vdc, poderiam ser utilizados relés optoacopladores para transferir o nível de tensão utilizado no ESP32 (3,3 Vdc). Foram utilizadas três saídas no PLC: Uma para informar contador de produção e outras duas para indicações de falha.

Essa abordagem funciona bem para sinais chamados booleanos, que variam entre 1 e 0, mas consome saídas do PLC, que são limitadas. Já a comunicação por Modbus TCP/IP permitiria uma troca de dados mais completa, incluindo valores analógicos e textos, sem ocupar as saídas do controlador.

3.5 Alimentação elétrica dos dispositivos

A conexão elétrica entre os dispositivos foi projetada considerando as características específicas de alimentação de cada dispositivo.

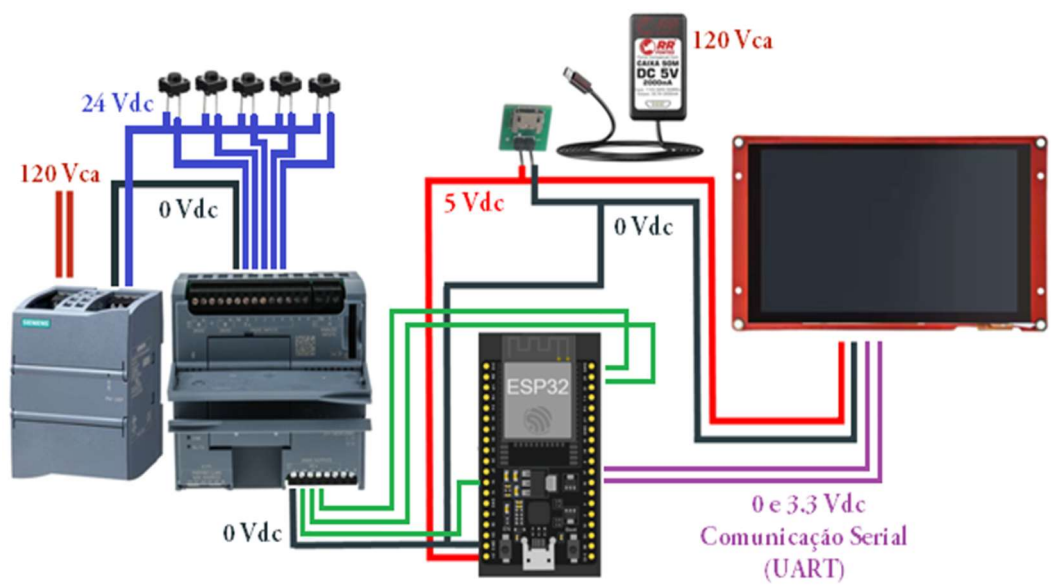
ESP32: Alimentado com 5 Vdc, com entradas e saídas operando em 3,3Vdc.

Nextion: Alimentado com 5 Vdc, sendo recomendável o uso de fonte de aproximadamente 2A de alta qualidade, pois instabilidades na alimentação podem danificar o display (Obs.: Foi utilizado um conector de USB tipo micro-B para conectar a fonte aos pinos de da protoboard).

PLC: O modelo utilizado é alimentado com 120 Vac, mas há versões que operam em diferentes tensões. Foi adicionada uma fonte alimentada com 120 Vca e fornecendo 24 Vdc para a alimentação das entradas do PLC, pois suas entradas digitais reconhecem apenas sinais entre 15 Vdc e 30 Vdc.

A figura 16 ilustra os níveis de tensão de cada dispositivo e a forma como foram interligados. Para facilitar a conexão dos cabos entre os dispositivos, foi utilizada uma protoboard, que oferece múltiplos pontos de conexão.

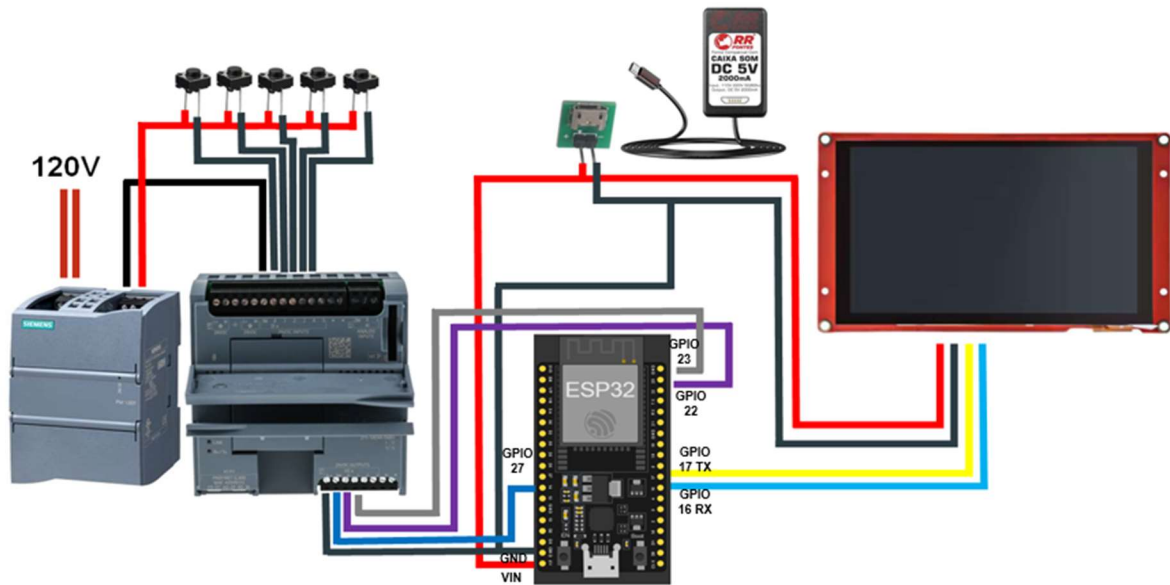
Figura 16: Comunicação entre dispositivos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 17 apresenta interligação elétrica utilizada no projeto, destacando mais especificamente as entradas do ESP32, sendo representado as cores dos fios utilizadas no projeto.

Figura 17: Esquemático elétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Apesar de suas vantagens, o uso do ESP32 em ambientes industriais requer um projeto adequado para proteger suas entradas com relés optoacopladores e suas saídas com relés de estado sólido, além de um sistema robusto para proteção e estabilização da alimentação de entrada. Também é essencial considerar o uso de conectores adequados, sinalizadores luminosos, sistemas de fixação, proteção mecânica e, se necessário, ventilação.

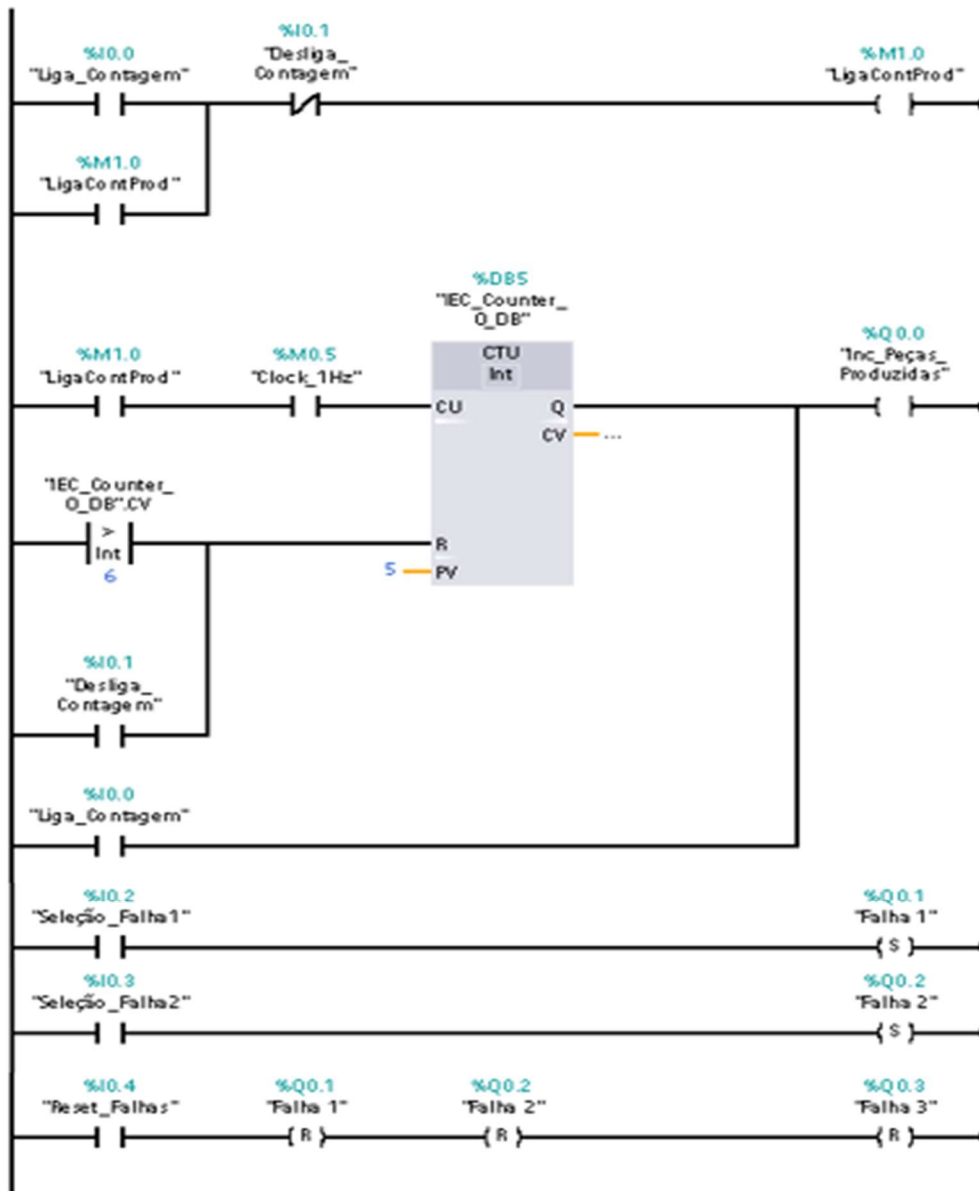
Uma solução eficiente para isso é o desenvolvimento de uma placa PCB personalizada, projetada especificamente para atender às necessidades do sistema. Atualmente, diversas plataformas como EasyEDA e Proteus PCB Design, que facilitam o desenvolvimento, orçamento e fabricação de PCBs. Oferecendo uma ampla seleção de componentes e opções de personalização, garantindo um projeto eficiente, personalizado, durável e confiável.

3.6 Programação do Plc

Para o PLC foi desenvolvido um código simples em que a entrada 1: Gera um pulso e mantém pulsos a cada 5 segundos na saída 1, indicando que houve uma peça produzida. Entrada 2: Encerra o envio automático de pulsos na saída 1. Entrada 3: Mantém a saída 2 ativa, indicando que existe uma falha no CNC. Entrada 4: Mantém a saída 3 ativa, indicando que existe uma falha no Robo. Entrada 5: Reseta as saídas

2 e 3. Foi inserido um contador de pulsos e um sistema de selo para manter o envio contínuo dos dados. A figura 18 apresenta a visão simplificada do Ladder desenvolvido para a lógica de programação.

Figura 18: Ladder desenvolvido para o PLC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.7 Programação do Esp32 para receber os dados do Plc

Foi desenvolvida uma lógica de programação no software Arduino IDE para a comunicação entre o PLC e o ESP. Abaixo é demonstrado de forma simplificada a forma como é configurado a leitura das entradas nos pinos 22, 23 e 27.

```

const int entradaProducao = 27;           // ===== Pinos e Configurações =====
const int entradaFalha1 = 22;
const int entradaFalha2 = 23;

bool Producao = false;                   // ===== Declaração das variáveis =====
bool Falha1 = false;
bool Falha2 = false;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  pinMode(entradaProducao, INPUT_PULLUP); // Configura pinos como entrada com pull-up
  pinMode(entradaFalha1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(entradaFalha2, INPUT_PULLUP);

  Serial.println("Setup concluído");
  delay(500);
}

// ===== Loop Principal =====
void loop() {
  Producao = !digitalRead(entradaProducao); // ===== Lê o estado das entradas digitais
  Falha1 = !digitalRead(entradaFalha1);
  Falha2 = !digitalRead(entradaFalha2);

  delay(500);

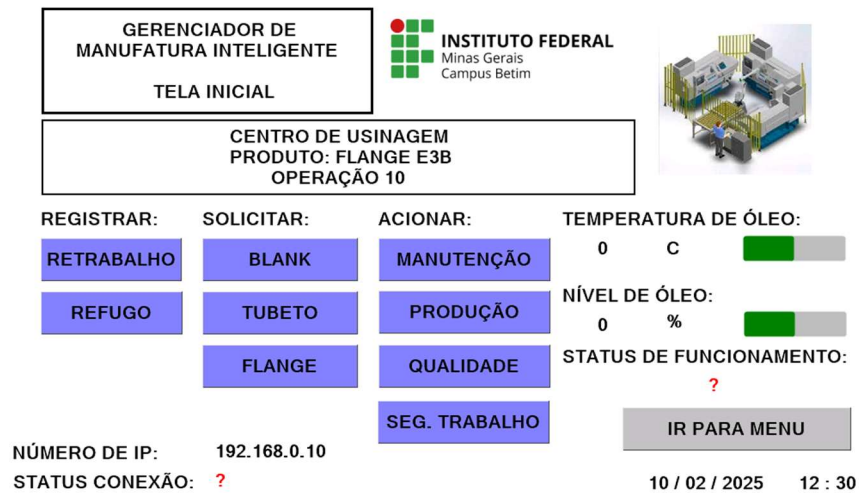
  Serial.println("-----"); // ===== Exibe no Serial Monitor
  Serial.print("Produção: "); Serial.println(Producao);
  Serial.print("Falha 1: "); Serial.println(Falha1);
  Serial.print("Falha 2: "); Serial.println(Falha2);
}

```

3.8 Desenvolvimento de telas no Nextion Editor

A figura 19 apresenta a tela inicial desenvolvida para o display Nextion facilitando o acesso rápido a comandos importantes para o operador, como incrementar retrabalhos, registrar refugos, solicitar matéria-prima, acionar assistência técnica, entre outros. Além disso, as telas permitem monitorar sensores, mostram o status de conexão à rede e a presença de alarmes, permitindo também acessar outras telas.

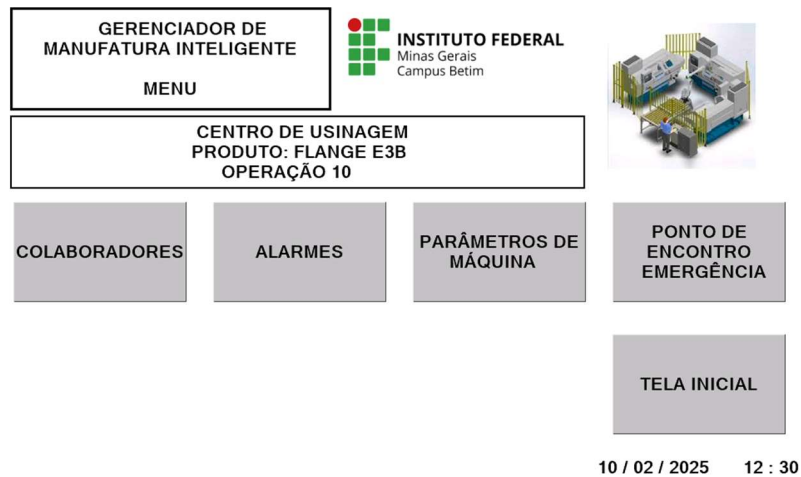
Figura 19: Interface criada pelo Nextion Editor.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 20 apresenta a tela de menu, que possibilita acessar outras telas. Sendo desenvolvidas telas que atendam as funcionalidades que atendam as necessidades da empresa.

Figura 20: Tela de Menu.




Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 21 apresenta a tela de colaboradores que são responsáveis pelo processo, em seus determinados turnos. A figura 22 apresenta a tela de histórico de alarmes gerados no dispositivo. A figura 23 apresenta a tela de parâmetros de máquina que devem ser seguidos para operação do equipamento. A figura 24 apresenta a tela de rota de fuga, que deve ser utilizada em casos de emergências que necessitem de evacuação da fábrica.

Figura 21: Tela de colaboradores.

GERENCIADOR DE MANUFATURA INTELIGENTE

COLABORADORES



USINAGEM	PRODUTO: FLANGE E3B	OPERAÇÃO 10
RESPONSÁVEL PELO SETOR:		IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
TURNO A:	LÍDER:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
	OPERADOR RESPONSÁVEL:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
TURNO B:	LÍDER:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
	OPERADOR RESPONSÁVEL:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
TURNO C:	LÍDER:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO
	OPERADOR RESPONSÁVEL:	IDENTIFICAÇÃO FUNCIONÁRIO


VOLTAR
10 / 02 / 2025 12 : 30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 22: Tela de alarmes.

GERENCIADOR DE MANUFATURA INTELIGENTE

ALARMES



USINAGEM	PRODUTO: FLANGE E3B	OPERAÇÃO 10
DATA	HORA	OCORRÊNCIA


VOLTAR
10 / 02 / 2025 12 : 30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 23: Tela de parâmetros de máquina.

GERENCIADOR DE MANUFATURA INTELIGENTE

PARÂMETROS DE MÁQUINA

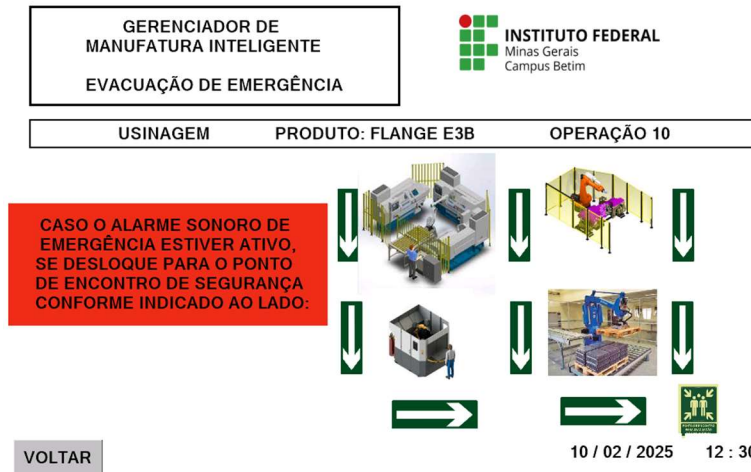


USINAGEM	PRODUTO: FLANGE E3B	OPERAÇÃO 10
MODELO:		CNC XYZ-123
TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO:		440 v
FLUIDO DE ARREFECIMENTO:		Óleo solúvel
PRESSÃO HIDRÁULICA:		100 BAR
PARÂMETROS DE USINAGEM:		
PROGRAMA DE USINAGEM:		1
VELOCIDADE AVANÇO:		0.2 mm/rot
ACELERAÇÃO:		5 m/s ²
VELOCIDADE DE CORTE:		200 ms
VAZÃO LIQ. ARREFECIMENTO:		2 l/min

VOLTAR
10 / 02 / 2025 12 : 30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 24: Tela de rota de fuga.

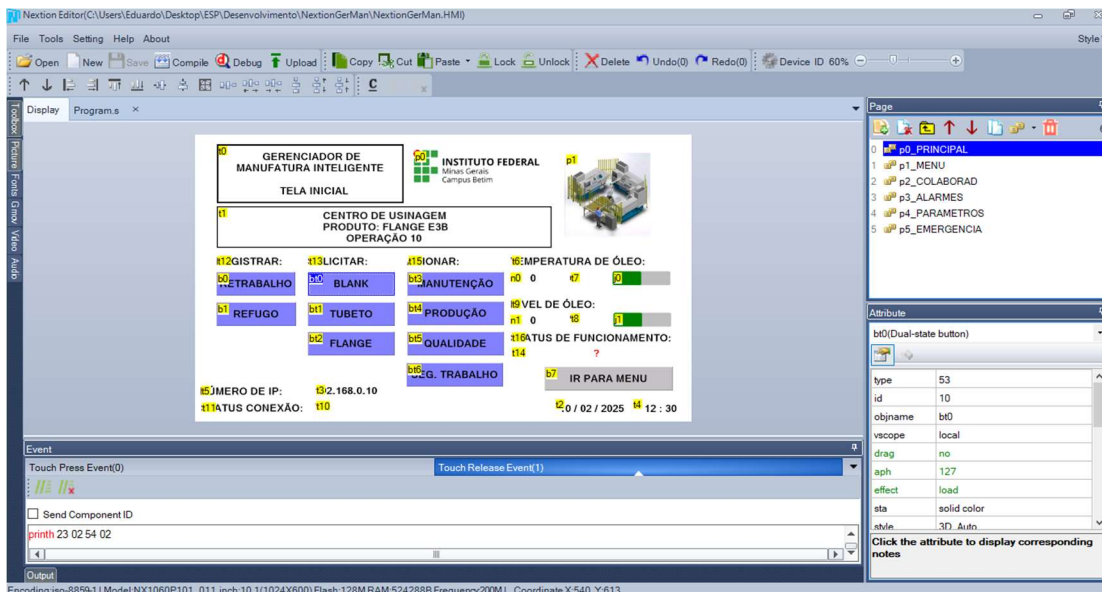


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.9 Comunicação entre Esp32 e Nextion

Para a leitura dos botões acionados no display foi configurado no Nextion Editor um evento TouchReleaseEvent, com a instrução de escrita na porta serial: “print 23 02 54 XX”, onde XX representa o número do botão que será lido na porta serial. Sendo que foi utilizado o valor 01 para o primeiro botão e 09 para o ultimo botão. Não marcando a opção Send Component ID. A figura 25 apresenta a configuração do botão 02, que é utilizado para solicitar a matéria prima chamada de Blank.

Figura 25: Configuração dos botões na tela Nextion.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No Arduino IDE, foi utilizado a biblioteca *EasyNextionLibrary*, e foram utilizados Triggers para realizar a leitura dos botões acionados. Abaixo é demonstrado de forma simplificada como seria o código para a leitura do acionamento deste botão de matéria prima Blank.

```
#include <EasyNextionLibrary.h>
#define NEXTION_RX 16 // Comunicação Serial com a Nextion=====
#define NEXTION_TX 17
EasyNex myNex(Serial2);

int MatPrima1 = 0; // ===== Variáveis de Botões =====
int estadoAtual[10];

void setup() { // ===== Configuração Inicial =====
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N2, NEXTION_RX, NEXTION_TX);
  myNex.begin(9600);
  Serial.println("Setup concluído");
  delay(500);
}

void loop() { // ===== Loop Principal =====
  myNex.NextionListen(); // Escuta por atualizações na Nextion
  manipularegistradores();
}

void manipularegistradores(){
  estadoAtual[3] = (MatPrima1 ? 1 : 0);
}

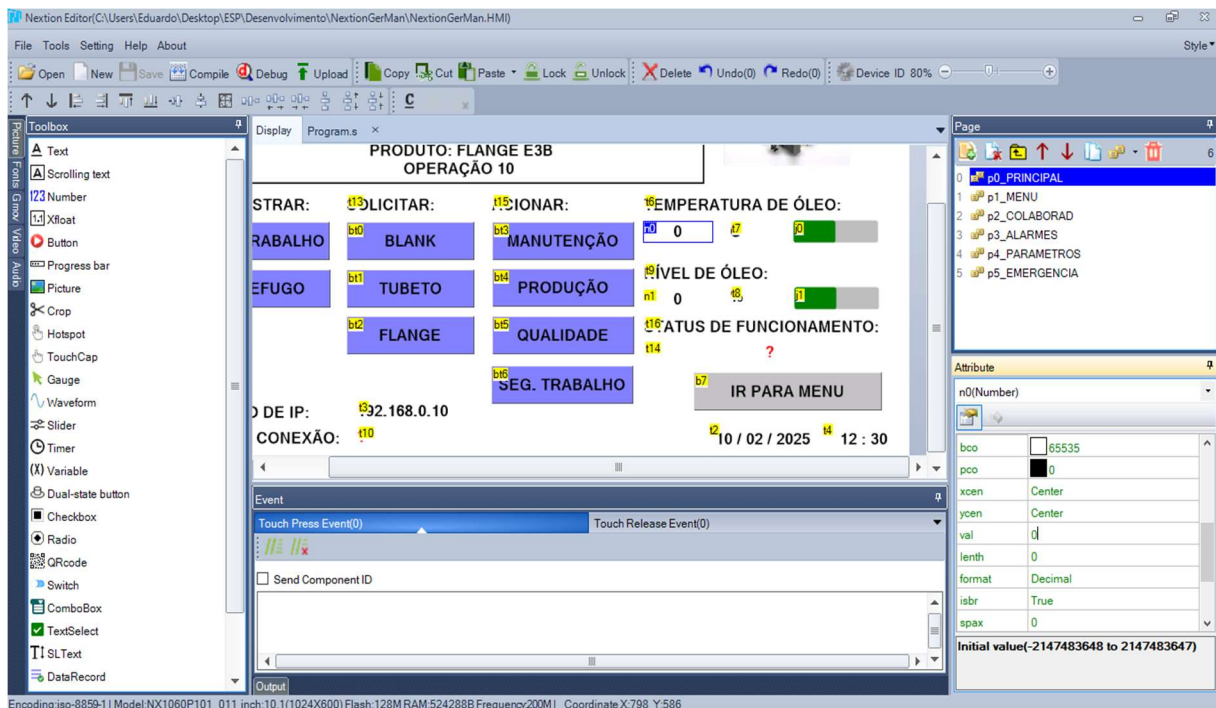
void trigger2() { MatPrima1 = !MatPrima1; atualizarEstado("MatPrima1", MatPrima1); }

void atualizarEstado(const char* nome, bool estado) {
  Serial.printf("%s: %s\n", nome, estado ? "Ativo" : "Inativo"); }

```

Na figura 26 é apresentado o exemplo de atributos que podem ser alterados utilizando a comunicação serial entre o ESP32 e o PLC. Podemos observar que n0 é um valor numérico e podemos estar alterando determinadas características, sendo o “pco” a cor do texto, “bco” a cor de fundo do texto e “val” o valor apresentado por este texto.

Figura 26: Configuração das propriedades de ferramenta no Nextion Editor.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No código abaixo foi demonstrado uma estrutura básica para alterar os atributos das ferramentas, apresentados na figura 27. Nele é realizado a leitura da entrada analógica do ESP32, em seguida é realizado um mapeamento para ajustar o valor para ser apresentado entre 0 a 100 e em seguida ser enviado através da porta serial. De acordo com o valor da temperatura, é realizado a alteração da cor e do conteúdo do texto de status de funcionamento.

```
void atualizaNextion() {
    int leituraTemp = analogRead(34); // leitura da entrada analógica 34.
    int temperaturaMapeada = map(leituraTemp, 0, 4095, 0, 100);

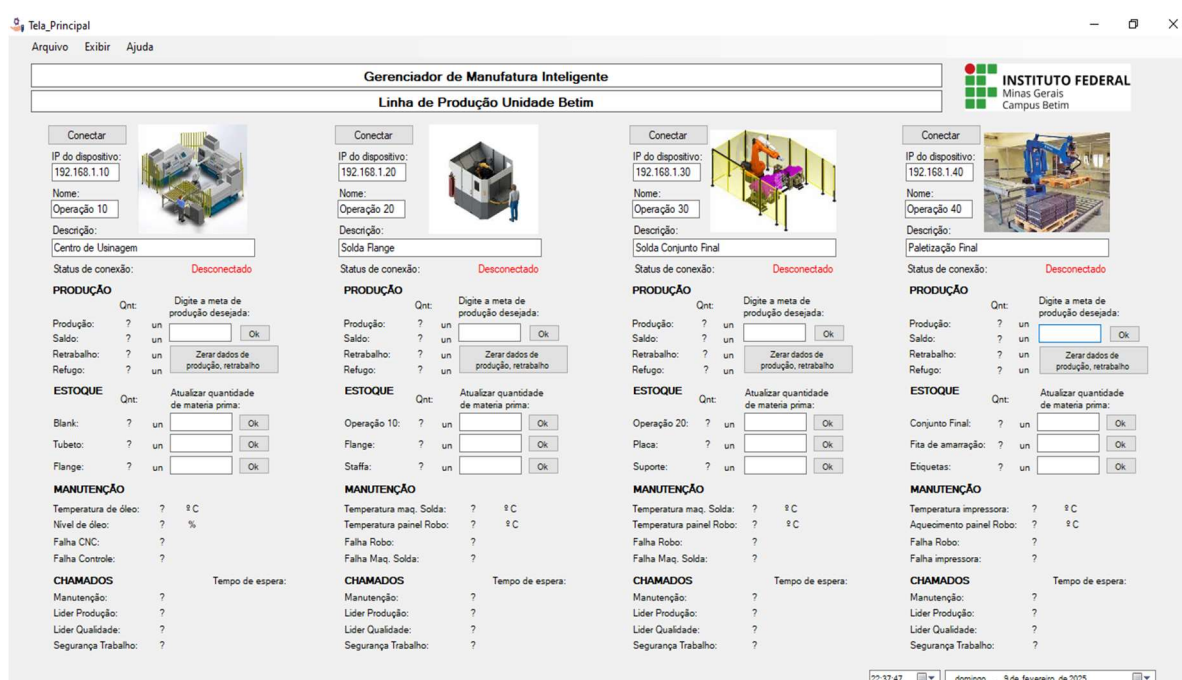
    myNex.writeNum("n0.val", temperaturaMapeada);
    myNex.writeNum("j0.val", temperaturaMapeada);

    if (temperaturaMapeada > 60) {
        myNex.writeStr("t14.txt", "Temperatura Anormal"); //Altera o texto de status
        myNex.writeNum("t14.pco", 63488); // Altera cor do texto status para vermelho
        myNex.writeNum("j0.pco", 63488); // Altera cor da barra de temperatura para vermelho
    }
    else {
        myNex.writeStr("t14.txt", "Funcionamento Normal"); //Altera o texto de status
        myNex.writeNum("t14.pco", 1024); // Altera cor do texto de status para verde
        myNex.writeNum("j0.pco", 1024); // Altera cor da barra de temperatura para verde
    }
}
```

3.10 Desenvolvimento de telas do supervisor no Visual Studio

A figura 27 apresenta o layout desenvolvido contendo as operações, sendo possível personalizar com figuras e descrições de texto. Nele é possível conectar e desconectar os dispositivos, ver a quantidade de peças produzidas, em retrabalho e refugos, indicar meta de produção, limpar dados, visualizar estoques e a solicitação de matéria prima, monitorar sensores e sinais de falhas e solicitar apoio técnico.

Figura 27: Layout de um processo produtivo desconectado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A conexão é iniciada ao clicar no botão "conectar", conforme apresentado na figura 28, em neste instante o algoritmo verifica o campo preenchido com o IP de comunicação, garantindo que somente dados válidos de IP sejam aceitos. Em seguida, uma mensagem é exibida informando o sucesso ou falha da conexão. Caso a conexão seja bem-sucedida, a informação no status de conexão é atualizada para CONECTADO e a leitura periódica dos registradores é iniciada.

Figura 28: Conexão com os dispositivos.

Conectar

IP do dispositivo:
192.168.1.10

Nome:
Operação 10

Descrição:
Centro de Usinagem

Status de conexão: **Desconectado**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Na figura 29 é apresentado o botão para realizar o zeramento dos valores de produção, retrabalho e refugo (algo que pode ser programado para ocorrer automaticamente à meia-noite todos os dias), sendo arquivados os valores diariamente para que possam ser realizadas análises. Os dados devem ser armazenados preferencialmente em um banco de dados, embora isso não tenha sido abordado neste trabalho. Além disso, há campos para inserir a meta de produção diária, que, ao ser preenchida, calcula automaticamente o saldo de peças produzidas. Também é possível inserir o estoque de matéria-prima, que neste projeto foi utilizado considerado 3 tipos diferentes. Um valor de peça produzida é recebido é feita a redução automática da quantidade das matérias-primas. Caso o valor de uma matéria prima esteja abaixo de 50 unidades, o campo de quantidade altera para cor vermelha. Quando o operador solicita matéria-prima através da tela Nextion, um campo ao lado da quantidade de matéria-prima é atualizado, indicando que o reabastecimento foi solicitado.

Figura 29: Configurações de produção e estoque.

PRODUÇÃO

Qnt: Digite a meta de produção desejada:

Produção: 78 un Ok

Saldo: -22 un

Retrabalho: 4 un

Refugo: 2 un

ESTOQUE

Qnt: Atualizar quantidade de materia prima:

Blank: 122 un Ok **Solicitado**

Tubeto: 72 un Ok **Solicitado**

Flange: 391 un Ok **Solicitado**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Na figura 30, são apresentados os valores dos sensores e indicadores de falha. Alterando para o campo para cor vermelha vermelho caso os valores estejam anormais. Também é apresentado um cronometro e um aviso de solicitação de apoio técnico dos setores determinados.

Figura 30: Configurações de manutenção e chamados.

MANUTENÇÃO		
Temperatura de óleo:	28	°C
Nível de óleo:	61	%
Falha CNC:	Ativo	
Falha Controle:	Ativo	
CHAMADOS		Tempo de espera:
Manutenção:	Solicitado	00:00:21
Lider Produção:	Solicitado	00:00:25
Lider Qualidade:	Solicitado	00:01:23
Segurança Trabalho:		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Foram pensadas outras funcionalidades para o supervisor. A figura 31 apresenta uma tela em que pessoal da segurança patrimonial poderia acionar a evacuação da fábrica. A figura 32 apresenta um controle de usuários, para permissão de acesso a funcionalidades. A figura 33 apresenta um campo para atualização de data e hora dos dispositivos conectados. A figura 34 apresenta o histórico de alarmes recebidos dos dispositivos. E por fim a figura 35 apresenta a versão e contatos do desenvolvedor.

Figura 31: Telas de Alerta de evacuação.



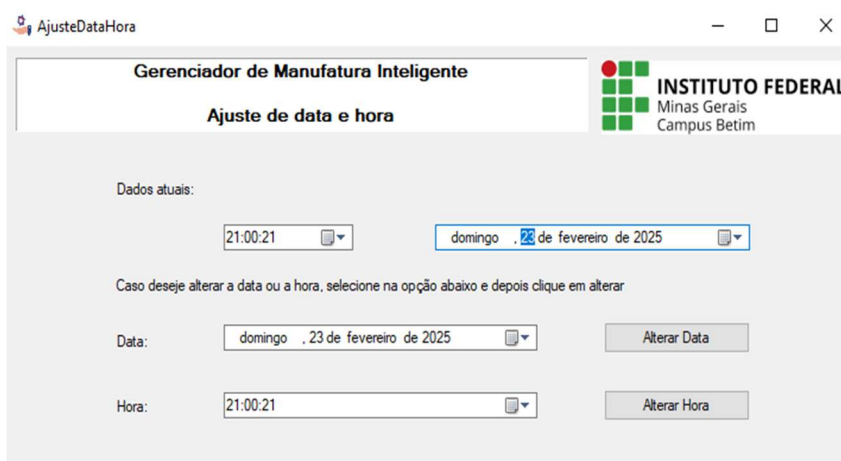
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 32: Telas de controle de usuários.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 33: Tela de ajuste de data e hora.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 34 Tela de histórico de falhas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 35: Tela sobre.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.11 Comunicação entre Esp32 e supervisório

O código abaixo apresenta uma declaração básica para configurar a comunicação Modbus TCP/IP em um ESP32 atuando como servidor. No exemplo, a conexão Wi-Fi foi configurada com IP fixo, permitindo o envio do estado de uma entrada na GPIO do ESP32, repetindo o status da entrada a cada segundo.

```
#include <WiFi.h> // ===== Inserção de bibliotecas =====
#include <ModbusIP_ESP8266.h>

const char* ssid = "SSID"; // ===== Configurações Wi-Fi =====
const char* password = "12345678";

IPAddress ipFixo(192, 168, 1, 10); // ===== Configuração do IP Fixo =====
IPAddress gateway(192, 168, 1, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
IPAddress dns(8, 8, 8, 8);

const int REG_PULSOPRODUCAO = 10; // ===== Configuração Modbus =====
const int entradaProducao = 27; // ===== Pinos e Configurações =====

ModbusIP mb; // ===== Inicializa Modbus =====

void setup() {
    pinMode(entradaProducao, INPUT_PULLUP); // ===== Configura pinos =====

    if (!WiFi.config(ipFixo, gateway, subnet, dns)) { // ===== Realiza a comunicação =====
        Serial.println("Falha ao configurar IP fixo!");
        WiFi.begin(ssid, password);
        Serial.print("Conectando ao Wi-Fi");
        while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            delay(500);
            Serial.print(".");
        }
        Serial.println("\nWi-Fi conectado!");
    }

    mb.server(); // ===== Inicializa Modbus =====
}
```

```

    mb.addHreg(REG_PULSOPRODUCAO, 0);
}

void loop() {
    mb.task();
    mb.Hreg(REG_PULSOPRODUCAO, !digitalRead(entradaProducao)); // = Atualiza o registrador=
    delay(1000);
}

```

Já o código abaixo é apresentado, de forma simplificada, um código desenvolvido no Visual Studio para receber os valores dos registradores enviados pelo ESP32 (cliente). Nesse exemplo, foi implementada uma lógica onde, caso o valor do registrador seja igual a 1, a variável correspondente é incrementada.

```

private void bt_Conectar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (bt_Conectar.Text == "Conectar")
    {
        string ip = tx_IP.Text;
        int port = 502;
        try
        {
            cliente = new TcpClient(ip, port);
            var factory = new ModbusFactory();
            master = factory.CreateIpMaster(new TcpClientAdapter(cliente));
            MessageBox.Show("Conexão bem-sucedida!");
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show("Erro ao conectar: " + ex.Message);
        }
    }
    else
    {
        Desconectar();
    }
}

if (master == null || cliente == null || !cliente.Connected)
{
    VerificarStatusConexao();
    return;
}
try
{
    ushort enderecoStart = 10;
    ushort quantidade = 1;
    ushort[] registers = master.ReadHoldingRegisters(1, enderecoStart, quantidade);
    if (registers != null && registers.Length == quantidade)
    {
        for (int i = 0; i < registers.Length; i++)
        {
            if (!ushort.TryParse(registers[i].ToString(), out _))
            {
                MessageBox.Show($"Dado inválido no registrador {enderecoStart + i}: {registers[i]}");
                continue;
            }
        }
    }
}

```

```
if (registers[0] == 1)
{
    ContadorProducao++;
    lb_ContagemProducao.Text = ContadorProducao.ToString();
}
cliente.ReceiveTimeout = 700;
```

Para o protótipo, foi utilizado o método de Input Registers, utilizando 14 registradores responsáveis por transmitir os sinais dos botões da tela Nextion, os sinais vindos do PLC e os dados dos medidores nível e temperatura. Para cada um desses sinais, foi criada uma lógica específica que interage com o supervisor, permitindo o incremento de variáveis e alterando suas cores de acordo com os valores recebidos. A lógica de controle foi projetada para garantir que as variáveis exibidas no sistema supervisor fossem atualizadas em tempo real, proporcionando uma visualização clara e dinâmica dos dados.

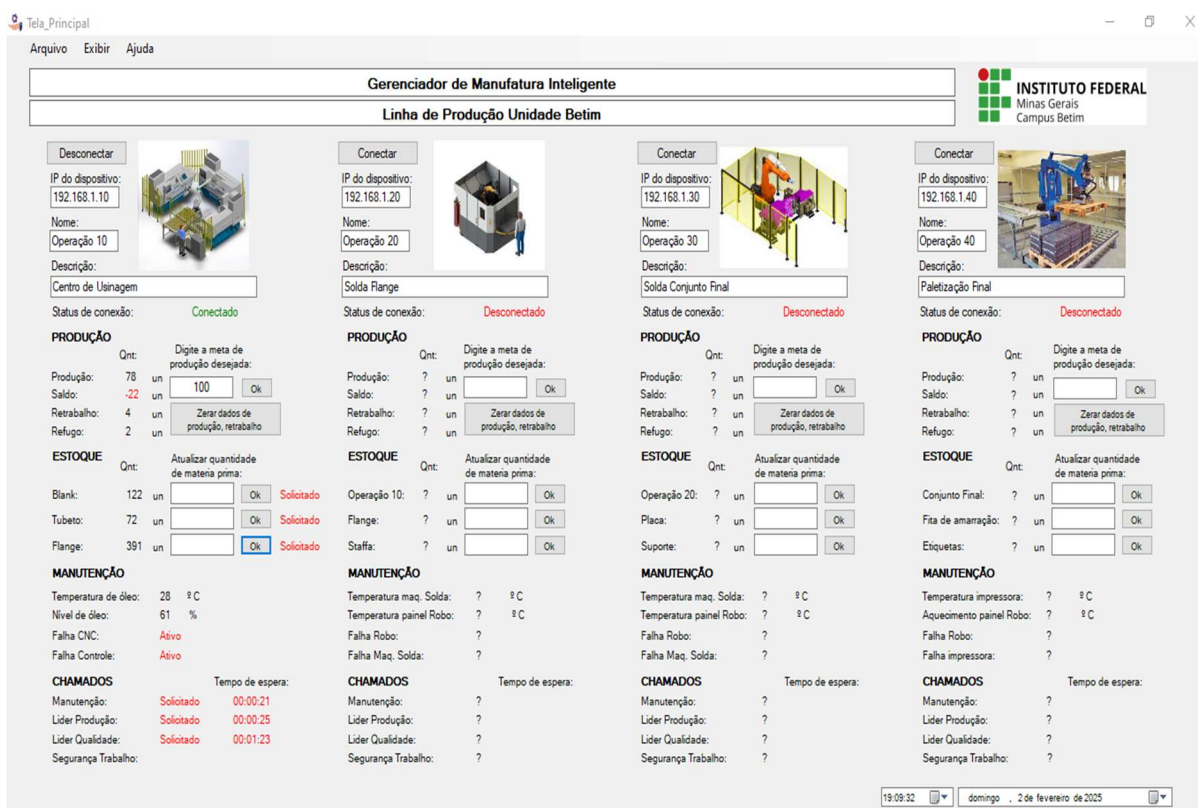
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados finais, testes de validação, dificuldades encontradas e uma análise comparativa de custos entre o protótipo e um sistema alternativo com conexão cabeada e IHM Siemens.

4.1 Resultado final

A figura 36 apresenta o supervisor já conectado e tendo alguns dados já transmitidos entre os dispositivos. Nela é possível ver as informações de conexão e observar o efeito de cores vermelhas indicando pontos que devem ter atenção do utilizador.

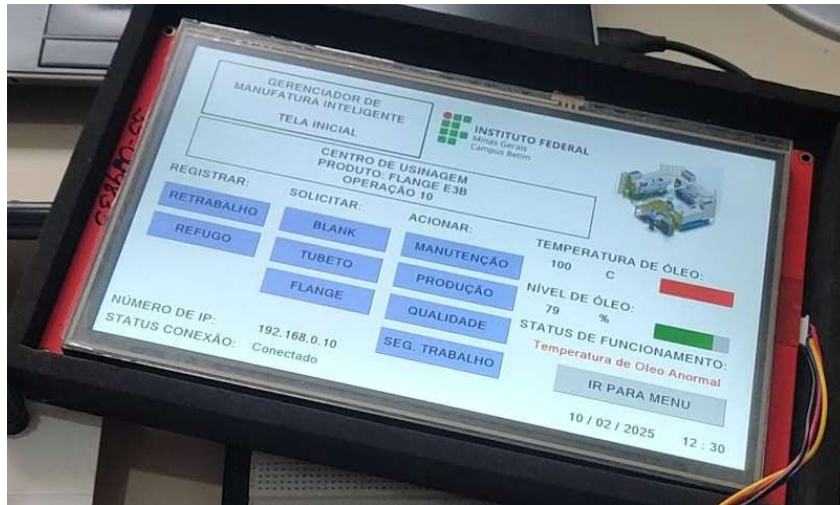
Figura 36: Layout final criado no Visual Studio Conectado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 37 apresenta o layout final desenvolvido na tela Nextion. Nele é possível ver a alteração de campos para cor vermelha, o status de conexão e a alteração do status de funcionamento.

Figura 37: Layout final na tela Nextion Conectado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 38 apresenta o layout final do dispositivo com todos os componentes conectados e comunicando entre si.

Figura 38: Montagem final do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.2 Testes de validação

Os testes realizados em bancada demonstraram um tempo médio de atualização das informações no supervisor e na tela Nextion praticamente

instantâneo, levando menos de um segundo para refletir as mudanças. Esse tempo de resposta foi considerado satisfatório e adequado para a operação.

Em um ambiente industrial, diversas fontes de interferência e barreiras físicas podem impactar a troca de sinais, além da quantidade de dispositivos conectados e da frequência de solicitação dos dados. É importante considerar que o ESP32 suporta os protocolos Wi-Fi 802.11b/g/n, com um limite máximo de 11 Mbps. Portanto, recomenda-se o uso de um roteador que, no mínimo, seja compatível com o protocolo Wi-Fi 802.11b.

Dependendo das necessidades e das características do processo, pode ser viável utilizar um microcontrolador e um roteador com maior capacidade de transmissão de dados para garantir a eficiência da comunicação.

4.3 Dificuldades encontradas

Recebimento de dados vindos do PLC ao ESP32:

Conforme mencionado anteriormente, houveram dificuldades na leitura dos dados do PLC pelo ESP32 utilizando um cabo de rede Ethernet e o protocolo Modbus TCP/IP. Foram testadas duas abordagens: o uso da porta LAN8720 conectada ao ESP32 e um módulo integrado WT32-ETH01. No entanto, devido ao tempo necessário para estudar e implementar essas soluções, optou-se por realizar a leitura através dos sinais de saída discretos do PLC. Essa abordagem se mostrou altamente eficaz, além de ser útil para aplicações em PLCs que não possuem suporte ao protocolo Modbus TCP/IP.

Além disso, foi necessário interligar os pinos de GND dos dispositivos para garantir a equiparação das fontes de alimentação, permitindo a leitura correta dos dados em todos os equipamentos.

Recebimento de dados vindos da tela Nextion ao ESP32:

Foram observadas instabilidades no acionamento dos botões e na transmissão de dados via serial ao utilizar a biblioteca *ITEADLIB_Arduino_Nextion*. Para solucionar o problema, realizou-se a substituição pela *EasyNextionLibrary*, que apresentou um desempenho significativamente melhor, garantindo uma comunicação

eficiente e estável entre o ESP32 e a tela Nextion.

Recebimento de dados vindos do ESP32 ao supervisório:

A comunicação entre o ESP32 e o supervisório ocorreu de forma satisfatória. Entretanto, ao utilizar potenciômetros para simular os valores das entradas analógicas de temperatura e nível, foram observadas oscilações significativas nas leituras. Para mitigar esse problema, foi implementado um divisor de tensão composto por uma série de resistores, conectando o pino de leitura ao ponto médio dessa configuração. Essa abordagem permitiu estabilizar os valores e viabilizar a continuidade dos testes. Vale ressaltar que, em uma aplicação real, sensores específicos para uso industrial seriam empregados, preferencialmente conectados diretamente ao PLC. Dessa forma, o método adotado teve uma finalidade essencialmente didática.

Comparação entre o desenvolvimento de uma aplicação cabeada x utilizando o protótipo desenvolvido.

A Tabela 4 apresenta uma comparação simplificada de um caso hipotético, no qual se busca conectar um maquinário a um sistema supervisório, sem considerar seu valor. Em ambos os cenários, assume-se que o roteador está a 100 metros do maquinário, que é controlado por um PLC Siemens S7-1200. Além disso, já se assume que exista uma infraestrutura de internet implementada, com um roteador preparado para receber as conexões.

Tabela 4: Comparação de custos

Utilizando arquitetura cabeada e IHM Siemens			
Modelo	Quant.	Valor Total individual	Total
IHM Siemens 9" KTP900 6av2 123-2jb03-0ax0 Basic.	1 un.	R\$ 6.299,00	
Cabo de rede cat5e 100 metros.	1 un.	R\$ 286,99	
Mão de obra para passagem dos cabos e montagem dos cabos.	2 dias	R\$ 960,00	R\$ 8.513,67
Perfilado Perfurado 38x38x3000mm kit12 unidades.	2 un.	R\$ 967,68	
Utilizando arquitetura Wi-Fi e display Nextion			
Tela Nextion 7".	1 un.	R\$ 1.499,00	
Fonte 5v 2A.	1 un.	R\$ 59,99	
Dispositivo ESP32.	1 un.	R\$ 43,58	R\$ 1.658,37
Placa De Expansão Esp32 30 Pinos Bornes E Parafusos.	1 un.	R\$ 39,90	
Cabeamentos.	1 un.	R\$ 15,90	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os orçamentos utilizados para essa análise estão apresentados no APÊNDICE B. A comparação realizada revelou uma diferença de investimento unitário de R\$ 6.855,30. Embora a análise tenha sido feita para uma única unidade, se analisássemos de forma simplificada, aumentando da quantidade de equipamentos para 50, a economia total poderia alcançar R\$ 342.765,00. A proposta poderia representar uma redução significativa nos custos, tornando-se um fator relevante para um estudo de viabilidade.

5 CONCLUSÃO

Em conclusão, o protótipo desenvolvido neste trabalho comprovou a viabilidade e a eficácia da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 e recursos de automação no ambiente industrial. A comunicação entre dispositivos e o sistema supervisório possibilitaram uma visualização clara e em tempo real dos dados dos processos produtivos, promovendo maior controle e otimização das operações. A análise comparativa de custos indicou que a solução proposta apresenta vantagens significativas em termos de custo-benefício quando comparada a sistemas tradicionais com conexão cabeada e IHMs mais caras. Apesar das dificuldades e desafios de integração entre os dispositivos, os resultados atenderam aos objetivos traçados e apresentou um grande potencial para expansão de funcionalidades e adaptação a diferentes necessidades da indústria. Os testes de bancada confirmaram a viabilidade da solução, embora ajustes sejam necessários para sua implementação em um ambiente industrial. O protótipo se mostrou uma alternativa acessível e flexível para coleta e monitoramento de dados industriais, destacando-se pela facilidade de personalização na conexão com diferentes dispositivos.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou uma excelente oportunidade para aprimorar habilidades de programação em diversas plataformas, como Arduino IDE, Nextion Editor, TIA Portal e Visual Studio. Além disso, possibilitou um aprofundamento no conhecimento sobre comunicação Modbus TCP/IP e nos recursos Wi-Fi do ESP32.

A experiência também permitiu aplicar na prática os conceitos adquiridos durante o curso de Engenharia de Controle e Automação, unindo teoria e prática de forma eficiente.

5.1 Trabalhos futuros

Ainda existem várias possibilidades de melhorias, como a integração com o PLC por cabo de rede ao switch de acesso à rede (comunicação por Modbus TCP/IP), desenvolver a implementação utilizando o módulo WT32-ETH01, implementar um sistema de banco de dados e o controle de acessos, alterar a programação para que a inserção de dispositivos e funcionalidades ocorram de maneira mais estruturada, atendendo a critérios de programação orientada a objetos,

além da adição de controles de acesso. Também é possível implementar outras funções que melhorem o processo, ampliar a quantidade de registradores e dados trocados entre os dispositivos e gerar históricos de alarmes. Uma solução atual que pode ser incorporada é a disponibilização de dados por dispositivos móveis, permitindo enviar alertas automaticamente para a equipe do setor. Também seria interessante incluir alertas sobre o tempo de troca de peças preventivas, baseados nas horas de uso do maquinário. Em resumo, as possibilidades de aprimoramento são inúmeras, e, por se tratar de uma plataforma aberta, as oportunidades de inovação são vastas.

Entre as melhorias a serem implementadas em um produto final, destacam-se a criação de uma placa de circuito impresso (PCB), que garantiria uma maior estabilidade e robustez nas conexões, a incorporação de caixas de proteção para os componentes eletrônicos, a proteção contra sobretensão e curto-circuito, além da utilização de conectores industriais adequados, que facilitem a manutenção e a troca de dispositivos.

Além disso, seria necessário garantir o isolamento adequado das partes elétricas, assegurando que as condições ambientais adversas (como umidade, poeira e variações de temperatura) não afetem o funcionamento do sistema. O design final também deve considerar o layout de montagem para garantir que o dispositivo possa ser instalado e operado de forma eficiente e segura no ambiente industrial.

Essas melhorias são essenciais para a transformação do protótipo em um produto comercializável e confiável, pronto para atender às exigências de uma planta industrial, com facilidade de integração, manutenção e escalabilidade.

REFERÊNCIAS

BOSCH. Indústria 4.0: Muito além da automação, 2021. Disponível em:

<<https://www.bosch.com.br/noticias-e-historias/industria-4-0/>>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CGEE. Indústria 4.0: Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/iniciativas/ci_nt_nicho_tec_nac.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

OLIVEIRA, Eric; BACCI, Silvio; Maria; PARIS, Lucio; MENEGASSI; Wladimir; JOAQUIM, Neto. Automação nos processos industriais: Processo de implementação e o papel do gestor de tecnologia da informação, 2024. Disponível em:

<<https://prospectus.fatecitapira.edu.br/index.php/pst/article/download/220/156/397>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Edipro, 2016. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/slideshow/a-quarta-revolucao-industrial-klaus-schwabpdf/258956080>>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SHIN; Wu Ting: EA871 Comunicação Serial Assíncrona UART – UNICAMP, São Paulo, 2020.

Disponível em:

<https://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/EA871/2s2020/ST/videos_aula/uart/serial.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. Esp32 Series Datasheet. Versão 4.8. 2025. Disponível em:

<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2025.

NEXTION. Nextion – Intelligent Series Introduction. Disponível em: < <https://nextion.tech/intelligent-series-introduction/>>. Acesso em: 17 jan. 2025.

RONCHI, Eduardo Lessmann. Análise de redes de comunicação sem fio para aplicações industriais. TCC (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico 2020. Engenharia Eletrônica. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/212399>>. Acesso em: 05 fev. 2025.

VOIGT, Heracto Mychajló Chruscinski. Uso do microcontrolador ESP32 para monitoramento e operação de um inversor de frequência via rede Wi-Fi. TCC – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31939>>. Acesso

em: 02 fev. 2025.

THOMÉ, Guilherme Dos Santos. Projeto e aplicação de um sistema de coleta de dados em tempo real para indústria. TCC – Universidade de Caxias do Sul – UCS, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/2257>>. Acesso em: 07 fev. 2025.

SEBRAE. Conheça as vantagens e desvantagens da automação industrial. 2023. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-as-vantagens-e-desvantagens-da-automacao-industrial,4e6896bdb056810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: 26 fev. 2025.

SECON. Indústria brasileira fecha 2024 com crescimento de 3,1%. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/industria-brasileira-fecha-2024-com-crescimento-de-3-1>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

DATTOS. Riscos do uso de planilhas. 2023. Disponível em: <<https://www.dattos.com.br/blog/riscos-do-uso-de-planilhas/>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

CTCTECH. Interoperabilidade na Indústria 4.0. 2024. Disponível em: <<https://ctctech.com.br/blog/interoperabilidade-industria-4-0/>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

MURRELEKTRONIK. Custos vs benefícios na automação industrial. 2023. Disponível em: <<https://blog.murrelektronik.com.br/custos-vs-beneficios-na-automacao-industrial/>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

BERTOLETI Pedro. O que é Modbus? Funcionamento e protocolo. 2025. Disponível em: <<https://www.makehero.com/blog/o-que-e-modbus-funcionamento-protocolo/>>. Acesso em: 21 fev. 2025.

BRAGA Lucas; MARQUES Ana. Wi-Fi: Diferenças entre os padrões 802.11 a, b, g, n, ac, ax, be. 2023. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/responde/wifi-802-11-a-b-g-n-ac-ax-be-diferencas-entre-padroes-de-rede-sem-fio/>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

CURTI Luís. Rede Cabeada vs Rede Sem Fio: Qual é a melhor para sua empresa? 2022. Disponível em: <<https://nasatecnologia.com.br/rede-cabeada-vs-rede-sem-fio-wireless/>>. Acesso em: 12 fev. 2025.

STRASBURG Carlos; MACHADO José. Medidas preventivas podem garantir proteção de segredos industriais. 2014. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2014-out-21/medidas-preventivas-podem-garantir-protecao-segredos-industriais/>>. Acesso em: 28 fev. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Link de acesso aos arquivos do projeto:

https://drive.google.com/file/d/1duO9RW-1BiSZcgl4T1aG1mltdnFYH0Rz/view?usp=drive_link

Link do vídeo demonstrativo no Youtube:

<https://youtu.be/Nx-hSUdloAI>

APÊNDICE B - ORÇAMENTOS

Ihm Siemens Ktp900 6av2 123-2jb03-0ax0 Ktp900 Basic

<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3313170316-ihm-siemens-ktp900-6av2-123-2jb03-0ax0-ktp900-basic-nova--_JM#polycard_client=search-nordic&position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=44e3f966-a227-4ff3-9b0b-fed016545f3f> Acesso em 05 mar. 2025

Cabo De Rede Furukawa Cat.5e 24 Awg 4 Pares Cmx 100m Preto

<https://www.mercadolivre.com.br/cabo-de-rede-furukawa-cat5e-24-awg-4-pares-cmx-100m-preto/p/MLB35633617?pdp_filters=item_id:MLB4594887450#is_advertising=true&searchVariation=MLB35633617&position=1&search_layout=grid&type=pad&tracking_id=3204ec68-ee68-43c8-955f-b586d1de70a5&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=1&ad_click_id=MDIzODk5NmYtZGQ4MS00N2UyLWlxZjctNjkyNWRkMmU3ZjQy>.
Acesso em 05 mar. 2025

Eletrocalha suspensa - Perfilado Perfurado 38x38x3000mm

<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3075522606-perfilado-perfurado-38x38x3000mm-24-pz-12-unidades-_JM#polycard_client=search-nordic&position=25&search_layout=grid&type=item&tracking_id=cd6cb7a6-3ad7-47ae-b2e5-25db2ab53610>. Acesso em 05 mar. 2025

Tabela para mensurar custo mão de obra (horas)

<https://idt.org.br/content/arquivos/diversos/Tabela%20de%20pre%C3%A7os_Eletrica.pdf>. Acesso em 05 mar. 2025

Tela Lcd Nextion 7.0 Pro 800x480

<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1337250491-tela-lcd-nextion-70-pro-800x480-arduino-raspberry-enhanced-_JM#polycard_client=search-nordic&position=7&search_layout=stack&type=item&tracking_id=a4b1af2e-3bc1-4d9e-a5de-7675ae5ca3d6>. Acesso em 05 mar. 2025

Fonte Carregador Compatível T100 Dock 5v 2A

<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2174608148-fonte-carregador-compativel-tablet-asus-t100-dock-5v-2a-_JM#is_advertising=true&position=27&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=4bd67b37-b8d2-47ed-9c14-e4411b9af0dd&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=27&ad_click_id=MGQ3OTNIOTMtM2UyOC00ZDFhLThkZjUtMTgzY2RjOWViYjU3>. Acesso em 05 mar. 2025

Esp32 Doit Devkit Com Esp32-wroom-32

<https://www.mercadolivre.com.br/esp32-doit-devkit-com-esp32-wroom-32/p/MLB28251016#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLB28251016&wid=MLB3786730067&position=3&search_layout=grid&type=product&tracking_id=2e983ad0-c122-4397-a0c3-95beb960bf63&sid=search>. Acesso em 05 mar. 2025

Placa De Expansão Esp32 30 Pinos Bornes E Parafusos

<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3754480015-placa-de-expansao-esp32-30-pinos-bornes-e-parafusos-_JM#polycard_client=search-nordic&position=28&search_layout=grid&type=item&tracking_id=c07c0d2b-be79-491b-baf8-1a01320ff92b>. Acesso em 05 mar. 2025

Jumper Macho Macho 20cm 40 Unidades

<<https://www.mercadolivre.com.br/jumper-macho-macho-20cm-40>>

unidades/p/MLB27731089#polycard_client=recommendations_pdp-
p2p&reco_backend=retrieval_ranker_complementarios&reco_model=ranker_entity_v
2&reco_client=pdp-
p2p&reco_item_pos=3&reco_backend_type=low_level&reco_id=0c770c5e-3d1c-
4fd1-8aab-80f88c117496&wid=MLB3595825349&sid=recos>. Acesso em 05 mar.
2025