

ESCOLA SENAI “PROF. JOÃO BAPTISTA SALLES DA SILVA”
CURSO TÉCNICO EM ELETROELETRÔNICA

EDUARDO TREVISAN FERNANDES
GUILHERME VEIGA PEDROMILO
PAULO RICARDO FONDELLO SATELIS
FLORIVALDO ANTONIO ROMERA GARCIA

CLP-SENAI
CLP DE BAIXO CUSTO

AMERICANA
2025

EDUARDO TREVISAN FERNANDES
GUILHERME VEIGA PEDROMILO
PAULO RICARDO FONDELLO SATELIS
FLORIVALDO ANTONIO ROMERA GARCIA

CLP-SENAI
CLP DE BAIXO CUSTO

Relatório final entregue ao Curso Técnico em Eletroeletrônica do SENAI Prof. João Baptista Salles da Silva, como requisito parcial à obtenção do diploma de Técnico em Eletroeletrônica.

Orientadores (Docentes e Coordenadores):

CAIO CESAR ALVES DOS SANTOS
RAFAEL OLENK ZANI
ROGÉRIO APARECIDO SILVA

AMERICANA
2025

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT.....	3
INTRODUÇÃO	4
JUSTIFICATIVA.....	4
PROBLEMA.....	5
OBJETIVOS.....	5
REFERENCIAL LÓGICO	6
MATERIAIS E MÉTODOS	6
FUNCIONALIDADES DO SISTEMA	7
DESENVOLVIMENTO	9
ANÁLISE DE RESULTADOS	15
INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)	15
CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS.....	17
ANEXOS	17

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Controlador Lógico Programável (CLP) de baixo custo baseado no microcontrolador ESP32, voltado para aplicação educacional no ensino técnico de automação industrial. Dado o alto custo de aquisição de CLPs industriais convencionais, muitas instituições de ensino enfrentam dificuldades para proporcionar aos alunos uma experiência prática adequada no aprendizado de lógica de controle e sistemas de automação. O projeto desenvolvido busca suprir essa necessidade ao oferecer um CLP acessível, modular e escalável, capaz de simular funções essenciais de um CLP industrial. Foram implementadas funcionalidades como interface web responsiva, comunicação via protocolo MQTT, suporte ao protocolo Modbus RTU e atualização remota de firmware (OTA). Os testes realizados demonstraram que o sistema proposto pode ser utilizado como ferramenta de ensino, proporcionando aos estudantes uma experiência prática e interativa alinhada às demandas tecnológicas da Indústria 4.0.

PALAVRAS-CHAVE: Automação industrial, CLP, ESP32, Indústria 4.0, Internet das Coisas, Modbus, MQTT.

ABSTRACT

This work presents the development of a low-cost Programmable Logic Controller (PLC) based on the ESP32 microcontroller, aimed at educational applications in technical training for industrial automation. Due to the high acquisition cost of conventional industrial PLCs, many educational institutions struggle to provide students with adequate practical learning experiences in control logic and automation systems. The developed project addresses this need by offering an accessible, modular, and scalable PLC capable of simulating essential industrial PLC functions. Features such as a responsive web interface, MQTT communication protocol, Modbus RTU support, and over-the-air firmware updates were implemented. The conducted tests demonstrated that the proposed system can be used as a teaching tool, providing students with a practical and interactive experience aligned with the technological demands of Industry 4.0.

KEY TAGS: Industrial automation, PLC, ESP32, Industry 4.0, Internet of Things, Modbus, MQTT.

INTRODUÇÃO

O avanço da automação industrial e da Indústria 4.0 tem gerado uma crescente necessidade de profissionais capacitados no desenvolvimento e operação de sistemas de controle e instrumentação. Dentro desse contexto, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) desempenham um papel crucial, sendo amplamente utilizados na automação de processos, máquinas e linhas de produção. Um CLP permite a execução de lógica de controle para tomadas de decisão automáticas, garantindo eficiência e confiabilidade nos processos produtivos.

No entanto, a aquisição e manutenção de CLPs industriais representam custos elevados, tornando difícil sua implementação em instituições de ensino técnico. Consequentemente, muitos estudantes têm contato apenas com simuladores digitais, o que limita sua experiência prática e o desenvolvimento de habilidades essenciais para o mercado de trabalho.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um CLP de baixo custo baseado no ESP32, permitindo que estudantes tenham acesso a um dispositivo funcional para a prática de lógica de controle programável. Além disso, busca-se oferecer conectividade moderna por meio dos protocolos MQTT e Modbus RTU, bem como uma interface gráfica via servidor web, proporcionando uma experiência mais interativa e alinhada às demandas da Indústria 4.0.

JUSTIFICATIVA

A escolha do ESP32 para o desenvolvimento do CLP educacional é justificada por sua versatilidade e baixo custo, características essenciais para viabilizar um projeto acessível e funcional. O microcontrolador ESP32 possui conectividade Wi-Fi e Bluetooth, suporte para múltiplas entradas e saídas digitais e analógicas, além de capacidade de processamento suficiente para executar lógica de controle e comunicação com protocolos industriais.

Dessa forma, a implementação de um CLP didático baseado no ESP32 permitirá que os alunos adquiram conhecimento prático sobre automação industrial, simulando funcionalidades que são encontradas em CLPs comerciais. Além disso, o projeto contribui para a democratização do ensino técnico ao fornecer uma alternativa acessível às instituições que enfrentam limitações orçamentárias.

PROBLEMA

A crescente necessidade de qualificação profissional na área de automação industrial exige que estudantes tenham contato direto com equipamentos modernos utilizados no setor. No entanto, os elevados custos dos CLPs industriais dificultam sua adoção em instituições de ensino técnico, limitando a formação prática dos alunos.

Além disso, a distância entre os conteúdos teóricos ensinados em sala de aula e sua aplicação prática em ambientes reais compromete a aprendizagem eficaz dos conceitos de lógica de controle programável. Sem a possibilidade de interação direta com um CLP físico, muitos estudantes enfrentam dificuldades para compreender seu funcionamento e sua importância nos processos industriais.

Diante desse cenário, surge a necessidade de um sistema didático, acessível e funcional, que permita a simulação de funcionalidades de um CLP industrial e auxilie na formação prática de estudantes.

OBJETIVOS

Objetivo Geral: desenvolver um sistema de Controlador Lógico Programável (CLP) baseado no microcontrolador ESP32, voltado para automação de processos industriais de aprendizado, proporcionando uma alternativa acessível para o ensino técnico em automação industrial.

Objetivos Específicos:

- Configurar o ESP32 para operar como um CLP, simulando o ciclo de scan utilizado em controladores industriais convencionais.
- Implementar uma interface web responsiva para controle remoto e monitoramento do sistema.
- Integrar comunicação via MQTT, permitindo conectividade com plataformas de Internet das Coisas (IoT).
- Desenvolver suporte ao protocolo Modbus RTU para garantir a interoperabilidade com sistemas industriais existentes.
- Criar uma placa de circuito impresso (PCI) modular, permitindo a conexão de diferentes sensores e atuadores.
- Implementar atualização remota de firmware via OTA, facilitando a manutenção e evolução do sistema.

- Validar o desempenho do CLP em cenários de teste, identificando pontos fortes e limitações da solução proposta.

REFERENCIAL LÓGICO

Controlador Lógico Programável (CLP): os CLPs são dispositivos programáveis que desempenham a função de controlar processos industriais por meio de lógica de automação. Seu funcionamento é baseado na leitura de entradas, execução de lógica de controle e acionamento de saídas, garantindo a automação de máquinas, linhas de produção e sistemas prediais.

Microcontrolador ESP32: o ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e alto desempenho, capaz de executar código de controle programável e interagir com sensores e atuadores. Suas principais características incluem conectividade Wi-Fi e Bluetooth, suporte para múltiplos protocolos de comunicação e capacidade de processamento adequado para aplicações em automação.

Protocolo Modbus RTU: o Modbus RTU é um protocolo amplamente utilizado na indústria para comunicação entre dispositivos de automação. Sua estrutura baseada em comunicação mestre-escravo permite a integração do CLP com sensores, inversores e outros equipamentos industriais.

Protocolo MQTT: o MQTT é um protocolo de comunicação eficiente para dispositivos IoT, sendo utilizado neste projeto para troca de mensagens entre o CLP e sistemas remotos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do CLP de baixo custo baseado no ESP32 envolveu a utilização de diversos componentes eletrônicos e ferramentas de software que garantiram a implementação das funcionalidades necessárias. Esta seção descreve os materiais utilizados, a estrutura do sistema e os métodos empregados para a programação, a integração de hardware e a validação dos resultados.

Componentes Utilizados:

- ESP32 DevKit V1 – Placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador ESP32, utilizada como núcleo de processamento do sistema.

- Módulo Relé – Permite ao CLP controlar dispositivos de potência como motores e lâmpadas, garantindo isolamento elétrico.
- Bornes de conexão – Facilita a ligação de sensores e atuadores ao sistema de automação.
- Regulador de Tensão 7805 (5V) – Circuito responsável por fornecer uma tensão estável para os componentes, garantindo segurança e eficiência.
- Capacitores cerâmicos e resistores – Utilizados para filtragem de ruído e controle de corrente nos circuitos eletrônicos.
- Optoacoplador PC817 – Proporciona isolamento entre circuitos de baixa e alta tensão, prevenindo interferências indesejadas.
- Cartão SD e módulo de leitura – Permite o armazenamento de arquivos de configuração e registro de dados.

Além dos componentes físicos, foram utilizadas bibliotecas de software especializadas para a implementação das funcionalidades de comunicação e controle, incluindo WiFiManager, ESPAsyncWebServer, PubSubClient, ModbusMaster e ArduinoOTA.

FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

O CLP desenvolvido oferece uma série de funcionalidades que permitem a programação e controle remoto de dispositivos, tornando-se uma alternativa prática e eficiente para ensino técnico e experimentação em automação industrial.

- **Interface Web Responsiva:** o sistema dispõe de uma interface gráfica acessível via navegador, onde os usuários podem monitorar e controlar entradas e saídas digitais e analógicas do CLP. A interface é baseada em HTML, CSS e JavaScript, permitindo interações intuitivas e rápidas com os dispositivos conectados.

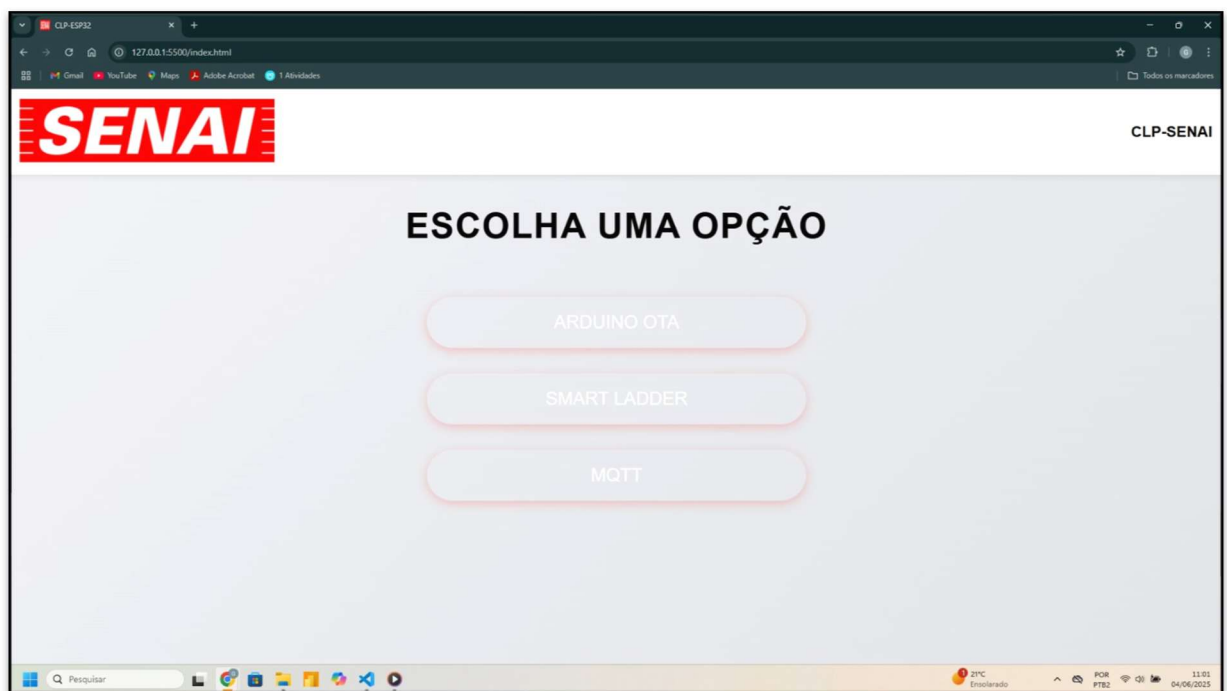


Figura 1 – Tela principal

- **Comunicação via MQTT:** para integração com plataformas IoT, o CLP suporta o protocolo MQTT, permitindo a troca de informações entre dispositivos de forma eficiente e segura. Isso possibilita o envio de comandos remotos e o monitoramento do sistema em tempo real.
- **Suporte ao Protocolo Modbus RTU:** a comunicação Modbus RTU permite que sensores e atuadores industriais sejam conectados ao sistema de forma padronizada, garantindo interoperabilidade com equipamentos convencionais.
- **Atualização Remota de Firmware (OTA):** uma das principais vantagens do sistema é a capacidade de atualizar o firmware sem necessidade de conexão física, utilizando a tecnologia Over-The-Air (OTA). Isso permite melhorias contínuas e correções sem intervenção manual.

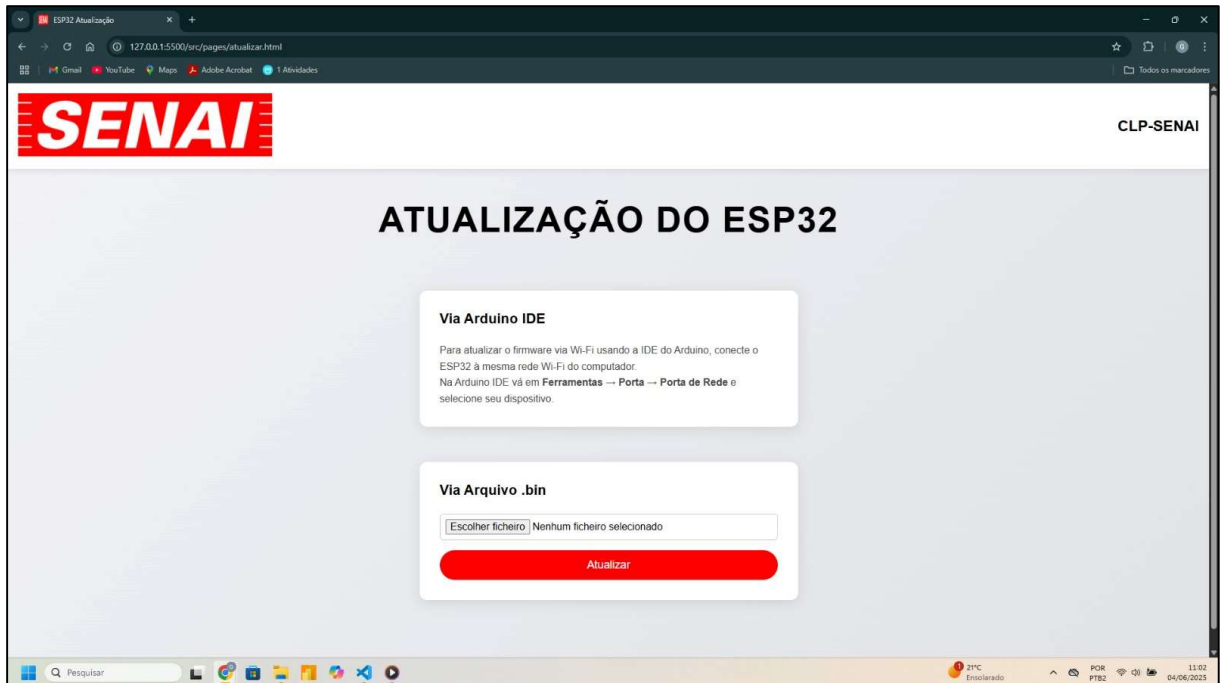


Figura 2 – Tela para atualização do ESP

DESENVOLVIMENTO

O projeto foi estruturado em várias fases para garantir o funcionamento correto das funcionalidades e possibilitar uma experiência completa para o usuário.

- **Arquitetura do Sistema:** a estrutura do CLP é modular, permitindo fácil adaptação a diferentes aplicações. O ESP32 atua como unidade central, recebendo sinais de sensores, processando lógica de controle e enviando comandos a atuadores.
- **Interface Homem-Máquina (IHM):** a interface gráfica foi projetada para ser responsiva e adaptável a diferentes dispositivos, incluindo smartphones e computadores. Ela permite que os usuários configurem parâmetros do sistema e monitorem variáveis em tempo real.
- **Processo de Fabricação da PCI:** a placa de circuito impresso foi desenhada para integrar os componentes do sistema, proporcionando estabilidade e organização na montagem do CLP. Foram realizados testes de conectividade e funcionamento para garantir que todos os módulos operem corretamente:

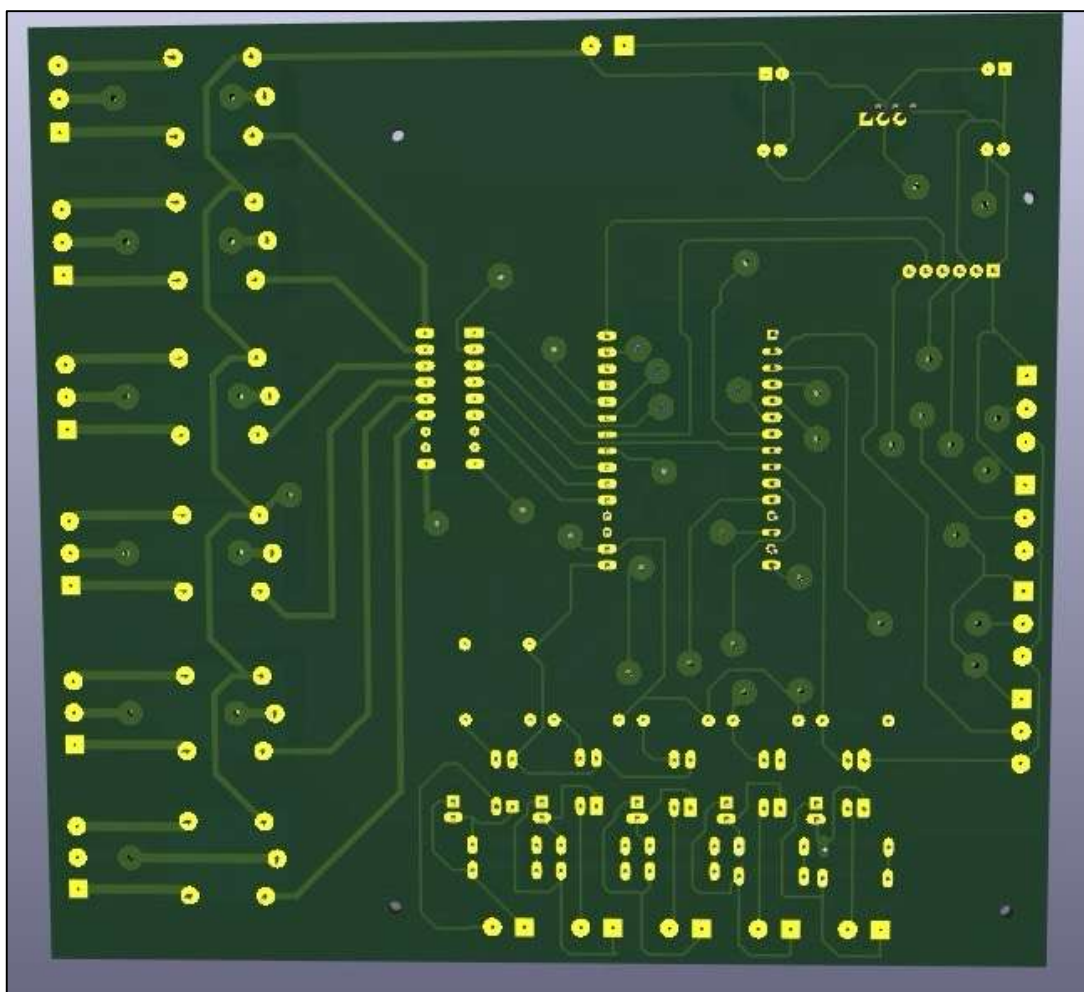


Figura 3 - Modulação virtual da PCI

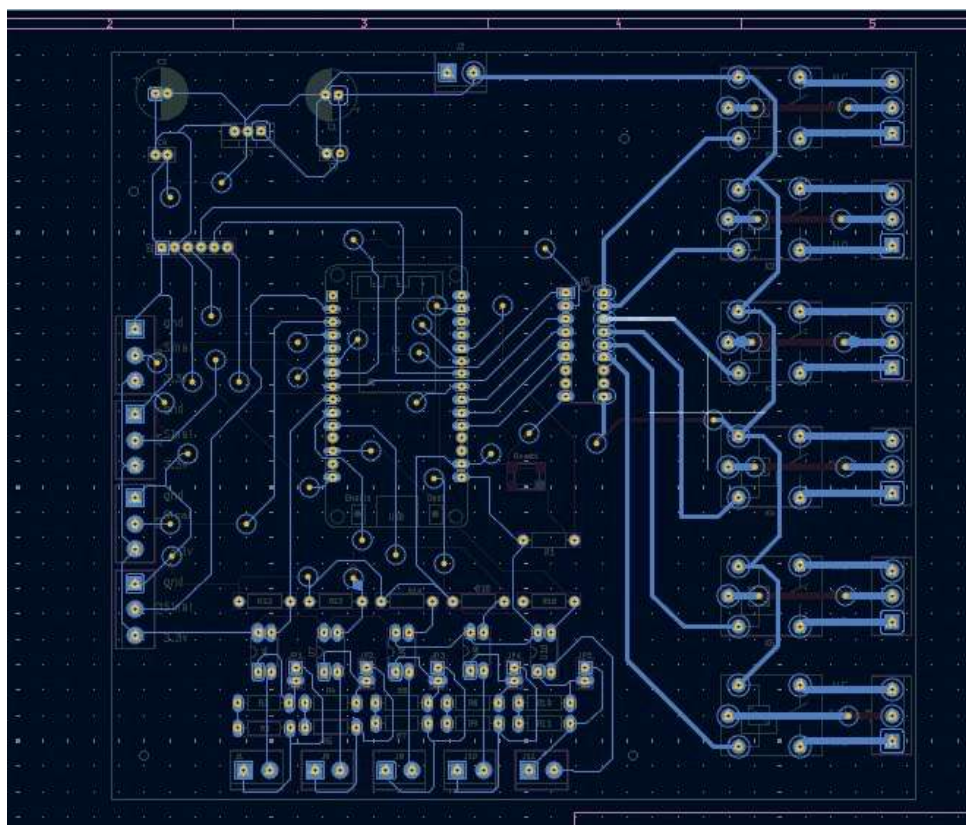


Figura 4 - Modulação virtual das conexões da PCI



Figura 5 - Modulação em 3D da placa pronta



Figura 6 - Criação de estufa caseira para criação da PCI



Figura 7 - Criação de método de secagem para a placa

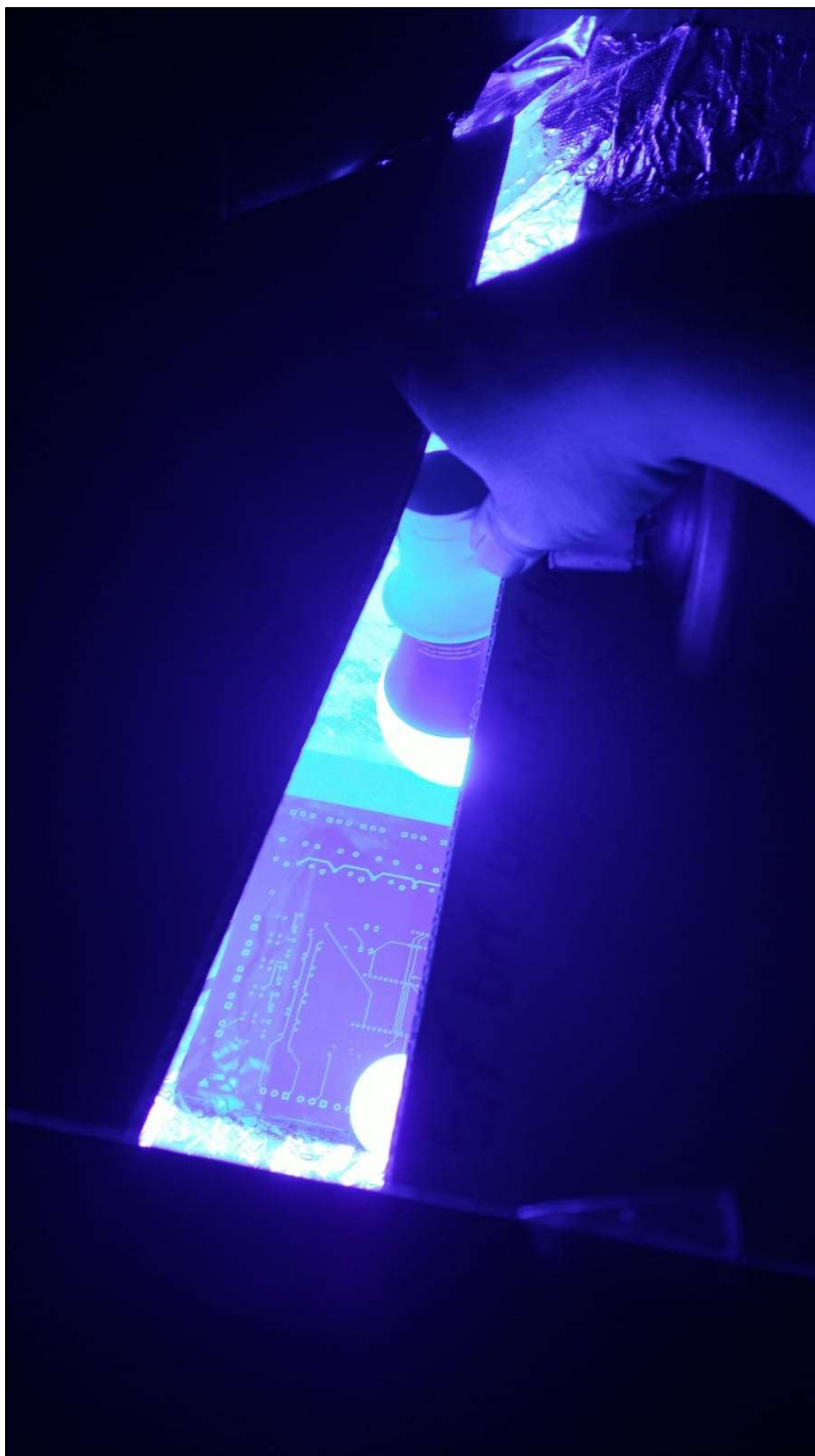


Figura 8 - Placa sob efeito de luz UV

- **Comunicação Modbus:** o suporte ao protocolo Modbus RTU foi implementado para permitir a interação do CLP com dispositivos industriais padrão, garantindo uma aplicação prática compatível com os equipamentos utilizados na indústria.
- **Testes de Funcionamento:** após a implementação das funcionalidades, o sistema foi submetido a testes para validar sua operação e detectar possíveis melhorias.

ANÁLISE DE RESULTADOS

- Os testes realizados demonstraram a eficiência do CLP no controle de dispositivos e na comunicação entre diferentes módulos. Os resultados indicam:
- Respostas rápidas nas entradas digitais, capturando mudanças de estado em milissegundos.
- Leituras estáveis dos sensores analógicos, mesmo em condições variáveis de operação.
- Controle eficiente de atuadores, garantindo precisão no acionamento de motores, relés e outros dispositivos.
- Conectividade confiável, permitindo atualizações remotas de firmware e troca de dados via MQTT.
- Interface intuitiva, oferecendo controle remoto do sistema sem necessidade de softwares adicionais.

INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

A interface gráfica desenvolvida desempenha um papel fundamental na interação entre usuário e CLP, garantindo facilidade de uso e acesso remoto às configurações do sistema.

- **Navegação e Configuração:** a interface permite aos usuários configurar o CLP de forma intuitiva, ajustando parâmetros como endereços Modbus, configurações MQTT e lógica de controle.

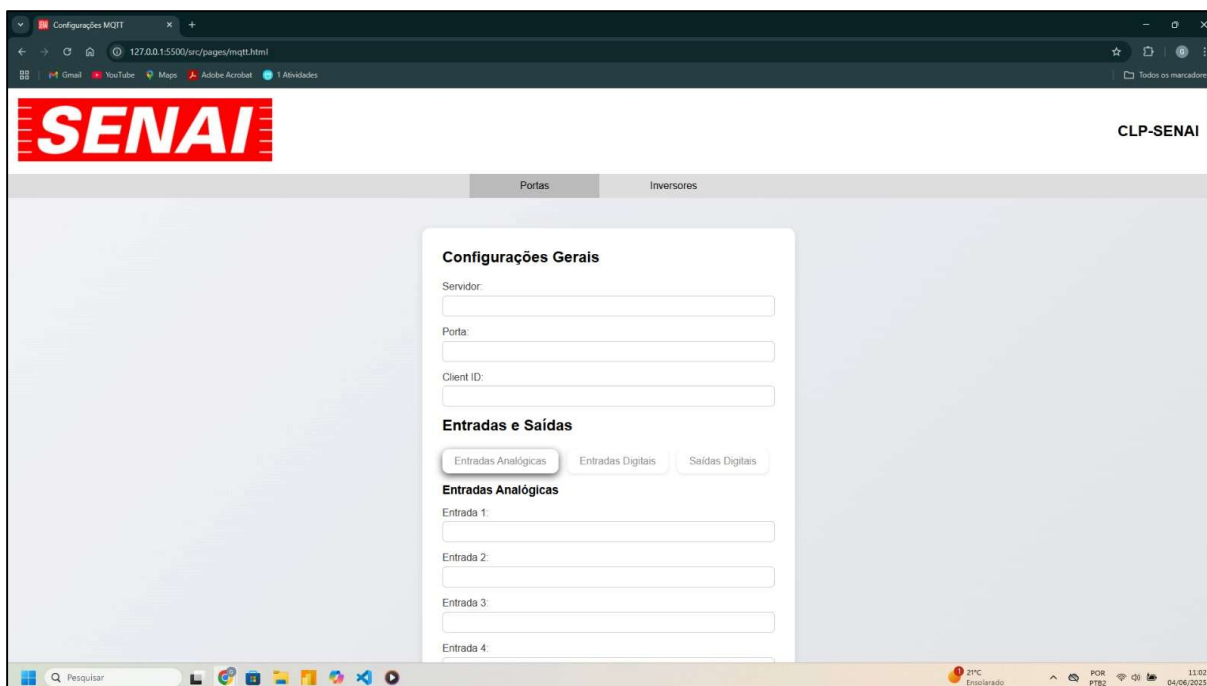


Figura 9 – Tela de configurações gerais para MQTT

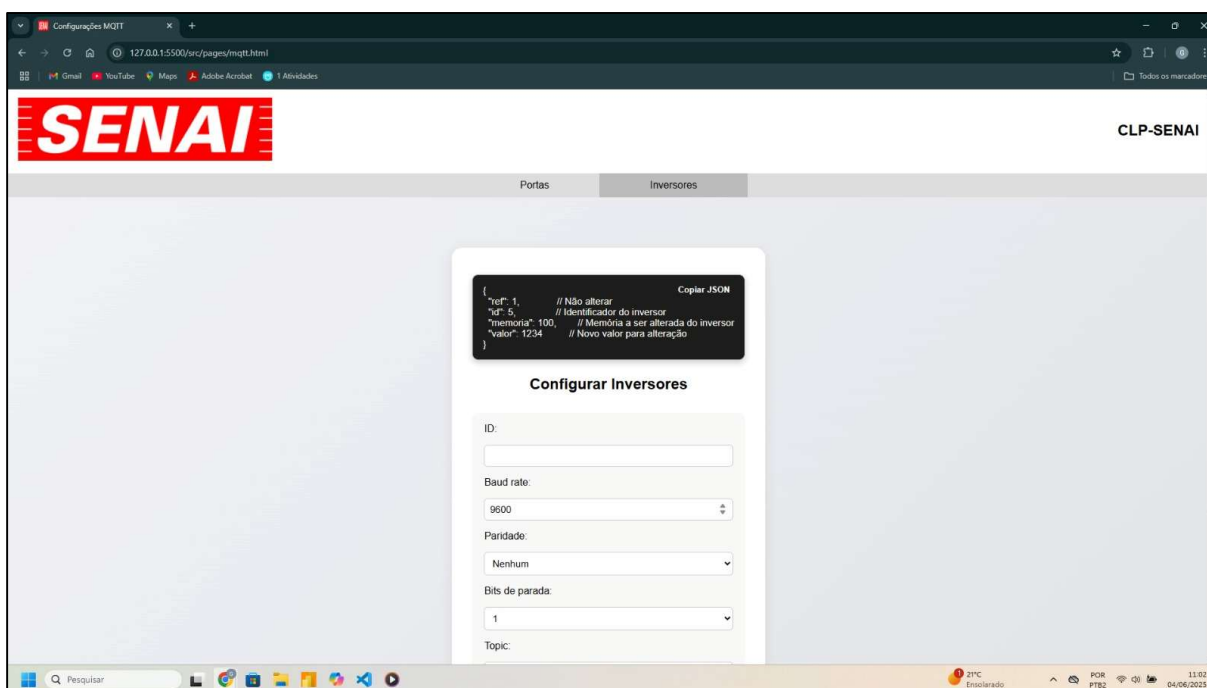


Figura 10 – Tela de configurações gerais para Inversores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste CLP de baixo custo demonstrou que é possível criar uma solução acessível e funcional para o ensino técnico em automação industrial. A

implementação do ESP32 como controlador principal oferece vantagens significativas em termos de conectividade, modularidade e capacidade de processamento.

Além disso, a integração de protocolos como MQTT e Modbus RTU amplia as possibilidades de uso do sistema, permitindo que ele seja incorporado em aplicações reais de automação. A interface web desenvolvida facilita o controle remoto e a programação do CLP, tornando-o uma ferramenta versátil para aprendizado e experimentação.

Os testes realizados confirmam a estabilidade e eficiência do sistema, evidenciando sua capacidade de atender aos requisitos de ensino técnico e de aplicações experimentais. Com isso, conclui-se que o projeto proposto é uma alternativa viável para instituições educacionais que desejam implementar o ensino prático de automação industrial sem depender de CLPs industriais de alto custo.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 06 jun. 2025.

ALLDATASHEET. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/>. Acesso em: 06 jun. 2025.

MOSQUITTO. Mosquitto MQTT broker. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 06 jun. 2025.

ANEXOS

ANEXO A – HIPERLINK DO PROJETO:

https://github.com/GuilhermeVeigaPedromilo/CLP_SENAI.git