

INSTITUTO FEDERAL DO SERTÃO PARAIBANO
CAMPUS CAJAZEIRAS

FELLIPH DO NASCIMENTO SILVA
GABRIEL SCHULZ SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE
PROCESSOS TÉRMICOS: INTEGRAÇÃO ENTRE O CLP FX3U E NODE-RED**

Cajazeiras-PB
2026

FELLIPH DO NASCIMENTO SILVA
GABRIEL SCHULZ SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE
PROCESSOS TÉRMICOS: INTEGRAÇÃO ENTRE O CLP FX3U E NODE-RED**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal do Sertão Paraibano, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. Gerônimo Barbosa Alexandre.

Cajazeiras-PB
2026

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586d Silva, Felliph do Nascimento.
Desenvolvimento de uma bancada didática para controle de processos térmicos: integração entre o CLP FX3U e NODE-RED / Felliph do Nascimento Silva, Gabriel Schulz Souza.– 2026.

16f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2026.

Orientador(a): Prof. Gerônimo Barbosa Alexandre.

1. Automação industrial - Ensino. 2. Bancada didática. 3. Controle de processos térmicos. 4. Formação profissional. I. Souza, Gabriel Schulz. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.

IFPB/CZ

CDU: 681.5(043.2)

FELLIPH DO NASCIMENTO SILVA

GABRIEL SCHULZ SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE
PROCESSOS TÉRMICOS: INTEGRAÇÃO ENTRE O CLP FX3U E NODE-RED**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal do Sertão Paraibano, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em agosto de 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GERONIMO BARBOSA ALEXANDRE**
Data: 11/08/2026 13:12:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M. Sc. Gerônimo Barbosa Alexandre – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **JORDANIO INACIO MARQUES**
Data: 13/08/2026 14:15:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

D. Sc. Jordânio Inácio Marques – UFMA-*Campus* Chapadinha
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL ALVES CORDEIRO NETO**
Data: 13/08/2026 11:27:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Esp. Manoel Alves Cordeiro Neto – IFPE-*Campus* Garanhuns
Examinador 2

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação,

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE PROCESSOS TÉRMICOS: INTEGRAÇÃO ENTRE O CLP FX3U E NODE-RED

FELLIPH DO NASCIMENTO SILVA

felliph.nascimento@academico.ifpb.edu.br

GABRIEL SCHULZ SOUZA

gabriel.schulz@academico.ifpb.edu.br

GERÔNIMO BARBOSA ALEXANDRE

geronimo.alexandre@ifpb.edu.br

RESUMO

A elevada complexidade e o alto custo dos sistemas de automação industrial frequentemente restringem o acesso de instituições de ensino a ferramentas práticas voltadas ao controle de processos. Diante dessa limitação, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada didática de baixo custo para o controle de processos térmicos, integrando um microcontrolador ESP32 e um Controlador Lógico Programável (CLP) Mitsubishi FX3U. O sistema é composto por uma câmara térmica instrumentada com sensor PT-100, uma lâmpada incandescente como atuador de aquecimento e ventoinhas como atuadores de resfriamento, sobre os quais o CLP executa uma estratégia de controle ON/OFF (liga-desliga). A supervisão do processo é realizada remotamente por meio da ferramenta Node-RED, que disponibiliza um painel de monitoramento acessível via navegador web, configurando uma arquitetura voltada à Internet das Coisas Industrial (IIoT). A comunicação entre os dispositivos fundamenta-se no protocolo Modbus-RTU sobre o padrão físico RS-485. Metodologicamente, a pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratória e experimental, priorizando a confecção de um protótipo funcional de fácil replicabilidade. Espera-se que a bancada proporcione aos estudantes uma simulação prática de processos térmicos análogos aos observados em ambientes industriais, integrando a Tecnologia de Operação (TO) à Tecnologia da Informação (TI) e contribuindo para a formação de engenheiros aptos a atuar no contexto da Indústria 4.0.

Palavras-chave: controle liga-desliga; processos térmicos; CLP FX3U; Node-RED; bancada didática.

ABSTRACT

The high complexity and cost of industrial automation systems often restrict the access of educational institutions to practical tools for process control. To address this limitation, this work presents the development of a low-cost didactic test bench for thermal process control, integrating an ESP32 microcontroller and a Mitsubishi FX3U Programmable Logic Controller (PLC). The system comprises a thermal chamber instrumented with a PT-100 sensor, an incandescent lamp as the heating actuator and fans as cooling actuators, over which the PLC executes an ON/OFF (on-off) control strategy. Process supervision is performed remotely through the Node-RED tool, which provides a web-accessible monitoring dashboard, establishing an Industrial Internet of Things (IIoT) architecture. Communication between devices is based on the Modbus-RTU protocol over the RS-485 physical standard. Methodologically, the research is characterized as applied, exploratory and experimental, prioritizing the construction of a functional and easily replicable prototype. The bench is expected to provide students with a practical simulation of thermal processes analogous to those observed in industrial environments, integrating Operational Technology (OT) and Information Technology (IT) and contributing to the training of engineers prepared for the industry 4.0 context.

Keywords: on-off control; thermal processes; FX3U PLC; Node-RED; didactic test bench.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico impulsionado pela quarta revolução industrial tem transformado os paradigmas de produção e gerenciamento de processos. Nesse cenário, a *Internet das Coisas Industrial (IIoT – Industrial Internet of Things)* desempenha um papel central, permitindo a interconexão de dispositivos, sensores e controladores para coleta e análise de dados em tempo real. Contudo, a implementação de sistemas automatizados industriais frequentemente envolve custos elevados, o que pode limitar o acesso a essas tecnologias por parte de pequenas indústrias e instituições de ensino (Neves, 2019).

No contexto acadêmico, especialmente nos cursos de engenharia, a atividade prática em laboratório é uma ferramenta essencial para consolidar o conhecimento teórico, simulando a realidade de um processo industrial e aproximando o estudante da realidade profissional e dos instrumentos de controle (Hotz, 2014). Diante da necessidade de ferramentas acessíveis e eficazes para o ensino e a aplicação de sistemas de controle, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de controle liga-desliga (ON/OFF) de temperatura, com comando e supervisão remota por meio de um painel web.

O controle liga-desliga (ON/OFF) destaca-se como uma solução de implementação simples e desempenho robusto para a gestão de processos térmicos, acionando integralmente os atuadores sempre que a temperatura ultrapassa os limites de uma faixa de operação previamente definida (Ogata, 2010). Além do controle de processos térmicos, a estratégia liga-desliga possui aplicações em diferentes setores industriais, podendo ser empregada no controle de nível de reservatórios por meio do acionamento de bombas, na manutenção da pressão de sistemas pneumáticos mediante o comando de compressores e no controle de umidade em processos agrícolas e de armazenamento. Essas aplicações baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento, no qual o acionamento ou desligamento dos atuadores ocorre a partir de limites previamente estabelecidos para a variável controlada. Por dispensar a sintonia de parâmetros e a modulação contínua de potência, essa estratégia mostra-se particularmente adequada a bancadas didáticas de baixo custo, nas quais a clareza didática e a facilidade de replicação são prioritárias (Martins, 2020).

Diante dessa situação, o principal objetivo deste trabalho é a montagem de uma bancada didática de baixo custo, na qual são integrados um microcontrolador ESP32 e um Controlador Lógico Programável (CLP) modelo FX3U da Mitsubishi, escolhido por sua praticidade e ampla utilização industrial. A arquitetura de *hardware* proposta compõe-se de uma câmara térmica equipada com sensor de temperatura PT-100, uma lâmpada incandescente como atuador de aquecimento e duas ventoinhas como atuadores de resfriamento. Nessa aplicação, o algoritmo de controle no CLP executa a estratégia de controle liga-desliga, regulando a temperatura no interior da câmara por meio do acionamento alternado da lâmpada de aquecimento e das ventoinhas de resfriamento conforme a temperatura medida.

Para aprimorar a gestão da planta, o sistema integra uma *interface* de supervisão que conecta o chão de fábrica à nuvem. Localmente, o *software* supervisório remoto comunica-se diretamente com o CLP, permitindo visualizar o processo em tempo real, registrar dados históricos e garantir a segurança operacional (Martins, 2020). Simultaneamente, a ferramenta Node-RED expande essa arquitetura para a *Internet das Coisas*, possibilitando o acesso remoto via celular ou navegador web e unindo a confiabilidade da automação industrial à flexibilidade da conectividade moderna.

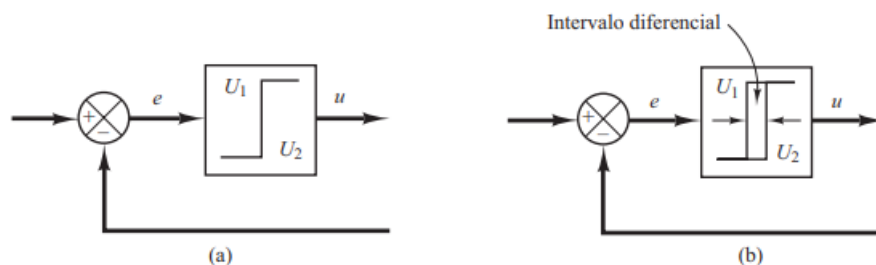
A relevância deste projeto é validada pela literatura recente, que aponta a urgência de laboratórios interoperáveis para atender às demandas da Indústria 4.0, exigindo do engenheiro a competência de integrar Tecnologia de Operação (TO) e Tecnologia da Informação (TI) (Magalhães, 2022). Além disso, a implementação do sistema de controle aliado à IoT contribui

para a formação curricular, superando o ensino limitado à teoria ao capacitar os discentes na dinâmica complexa dos sistemas ciberfísicos atuais (Rocha, 2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

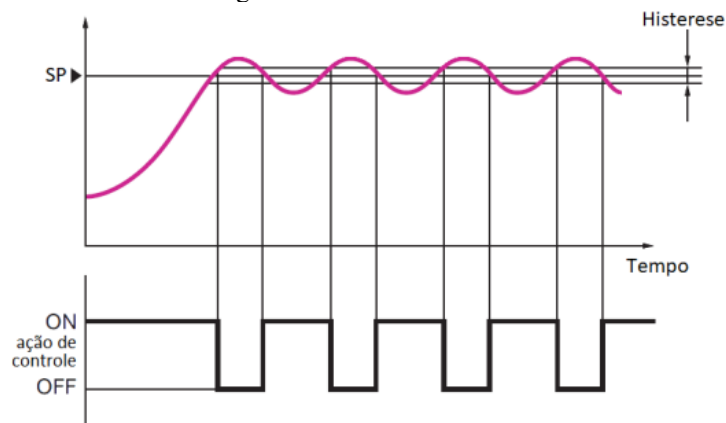
Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) constituem a base dos sistemas de automação industrial, sendo dispositivos robustos projetados para executar rotinas de controle em ambientes severos. O CLP Mitsubishi FX3U, adotado neste trabalho, destaca-se pela praticidade de programação em linguagem ladder, por meio do *software* GX Works2, e pela disponibilidade de módulos de expansão analógicos que permitem a leitura de sensores como o PT-100 (Teknimas, 2026). A partir desses sinais, o controlador executa a estratégia de controle liga-desliga (Figuras 1 e 2), uma das ações de controle mais utilizadas na indústria em razão de sua simplicidade funcional e de seu desempenho robusto, sendo amplamente empregada na regulação de processos térmicos (Ogata, 2010; Martins, 2020).

Figura 1 – (a) controlador ON/OFF; (b) controlador ON/OFF com histerese.



Fonte: Ogata (2010).

Figura 2 – Controle ON/OFF.



Fonte: Pasetti (2018).

A aquisição de dados inicia-se no sensor de temperatura PT-100, cujo sinal analógico é convertido pelo módulo de entradas do CLP em um valor digital processável. A partir desse valor, a lógica liga-desliga implementada no programa ladder compara a temperatura medida com os limites da faixa de operação e comuta os atuadores: a lâmpada incandescente é acionada como fonte de calor quando a temperatura fica abaixo do limite inferior, enquanto as ventoinhas são acionadas para resfriamento quando a temperatura ultrapassa o limite superior (Martins, 2020).

A conectividade do sistema fundamenta-se no protocolo Modbus-RTU, uma rede aberta de comunicação serial que permite aos CLP's da série FX3 realizarem a *interface* com diversos equipamentos por meio do padrão físico RS-485. A configuração dos parâmetros e a execução

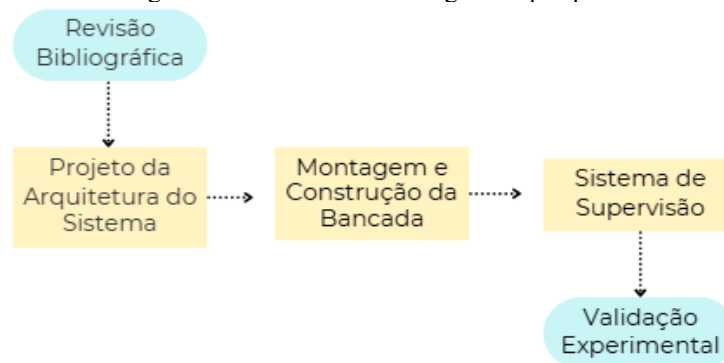
das rotinas Modbus são realizadas no programa ladder, no qual a instrução especial ADPRW gerencia a comunicação. Essa estrutura permite que dispositivos mestres – como um microcontrolador ESP32 ou a ferramenta Node-RED – realizem a leitura e a escrita dos registros internos do CLP, transmitindo os dados de temperatura para a supervisão remota via *Internet das Coisas* (Oliveira, 2022).

No nível de supervisão, a ferramenta Node-RED atua como uma ponte para a *Internet das Coisas*, lendo os registros do CLP e disponibilizando os dados em um painel acessível via navegador ou dispositivos móveis. Essa convergência entre Tecnologia de Operação (TO) e Tecnologia da Informação (TI) caracteriza os sistemas ciberfísicos da Indústria 4.0 e amplia o potencial didático da bancada (Neves, 2019; Magalhães, 2022).

3 MÉTODO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, por desenvolver uma solução tecnológica destinada ao ensino de automação industrial; exploratória, por investigar a integração entre sistemas de controle de processos e tecnologias da *Internet das Coisas* Industrial (IIoT); e experimental, uma vez que compreende o projeto, a construção e a validação de uma bancada didática para controle de processos térmicos. O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em cinco etapas principais (Figura 3): levantamento bibliográfico, projeto da arquitetura do sistema, construção da bancada, implementação dos sistemas de controle e supervisão e realização dos testes experimentais.

Figura 3 – Processo metodológico da pesquisa.

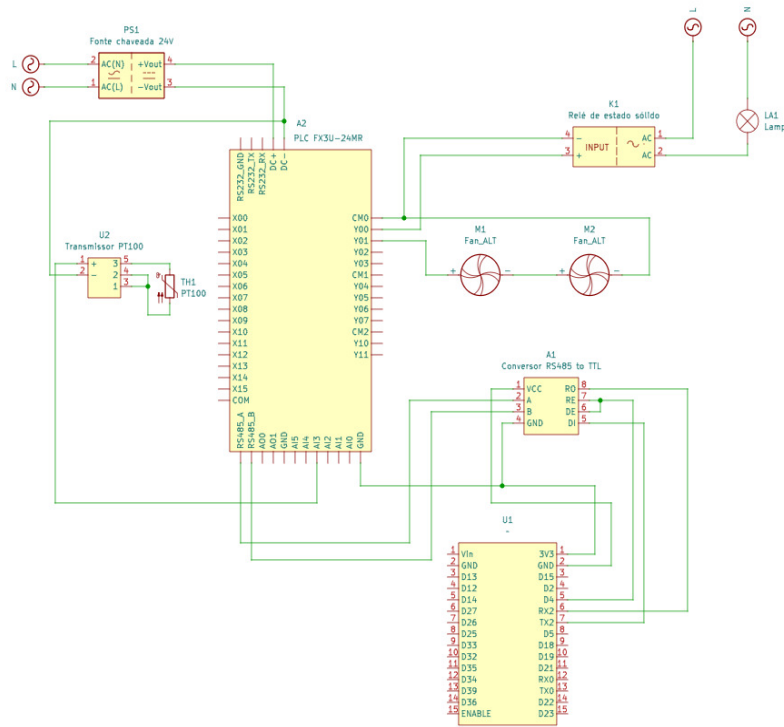


Fonte: Os autores, 2026.

Na Camada de Campo, o processo físico ocorre no interior de uma câmara térmica instrumentada com um sensor de temperatura PT-100, uma lâmpada incandescente atuando como fonte de aquecimento e ventoinhas para o resfriamento. O gerenciamento direto desses periféricos é realizado por um Controlador Lógico Programável (CLP) modelo Mitsubishi FX3U. O algoritmo de controle implementado no CLP, por meio de linguagem Ladder, baseia-se na estratégia liga-desliga (ON/OFF) com *histerese*. Esta lógica compara continuamente a temperatura lida (Variável de Processo) com os limites de uma faixa de operação definida por um *setpoint* remoto. A *histerese* atua como uma zona de proteção, ligando a lâmpada apenas quando a temperatura cai abaixo do limite inferior e ativando as ventoinhas quando excede o limite superior, evitando assim o chaveamento rápido e prolongando a vida útil dos relés do controlador.

Na Figura 4 é ilustrado o esquemático elétrico das ligações físicas dos sensores e atuadores ao CLP FX3.

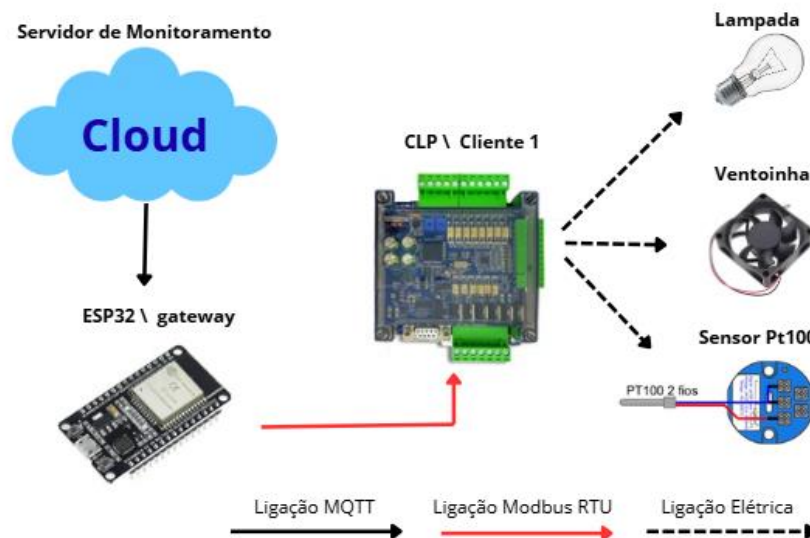
Figura 4 – Esquema de ligação elétrica da bancada.



Fonte: Os autores, 2026.

A Camada de *Gateway* é responsável por estabelecer a comunicação entre o chão de fábrica e o ambiente em rede. Para isso, utilizou-se um microcontrolador ESP32 integrado a um módulo conversor MAX485. O ESP32 opera como mestre na rede Modbus-RTU, comunicando-se serialmente (RS-485) com o CLP para realizar leituras periódicas dos registradores de temperatura e do estado dos atuadores, além de escrever os valores de *setpoint* recebidos. Ao adquirir os dados de campo, o ESP32 converte o protocolo industrial e os transmite via Wi-Fi através do protocolo MQTT, atuando como uma ponte IoT. A interação dos equipamentos de chão de fábrica com o CLP e com a nuvem é ilustrado na Figura 5.

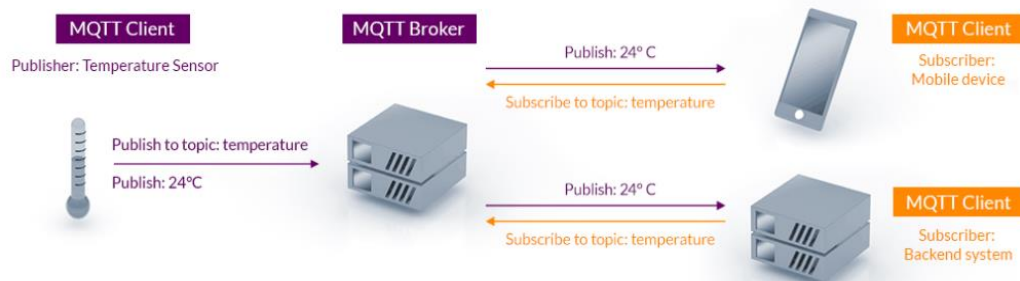
Figura 05 – Esquemático da interação do chão de fábrica com a camada de comando e supervisão remota.



Fonte: Adaptado de Correa (2019).

Por fim, a Camada de Supervisão (Figura 6) concentra as *interfaces* de operação do usuário e a gestão da comunicação IoT, sendo integralmente baseada na plataforma Node-RED (Neves, 2019). No ambiente do Node-RED, um *broker* MQTT (Aedes) embutido atua como o roteador central das mensagens, simplificando o sistema ao eliminar a necessidade de servidores externos e reduzindo pontos de falha. A comunicação nesta camada rege-se pelo modelo *Publish/Subscribe* (Publicar/Assinar).

Figura 6 – Diagrama de arquitetura do MQTT.



Fonte: MQTT.org.

Nesta arquitetura MQTT (Figura 6), os clientes assumem papéis bem definidos em relação à direção dos dados. Existem clientes que atuam apenas como publicadores (*publishers*), como é o caso do ESP32 enviando as leituras no tópico unidirecional sensor/temperatura. Na outra ponta, o painel *web* (e dispositivos móveis) atua puramente como assinante (*subscriber*) deste tópico, apenas recebendo as informações para exibição em tempo real. O fluxo inverso (descendente) ocorre no tópico controle/setpoint, onde o Node-RED é o exclusivo publicador do comando do operador e o ESP32 é o assinante. Adicionalmente, a arquitetura explora tópicos bidirecionais, como atuadores/lâmpada e atuadores/ventoinha, nos quais tanto o ESP32 quanto o Node-RED operam simultaneamente como publicadores e assinantes, garantindo a sincronia absoluta entre o estado físico da planta e os botões da *interface* remota.

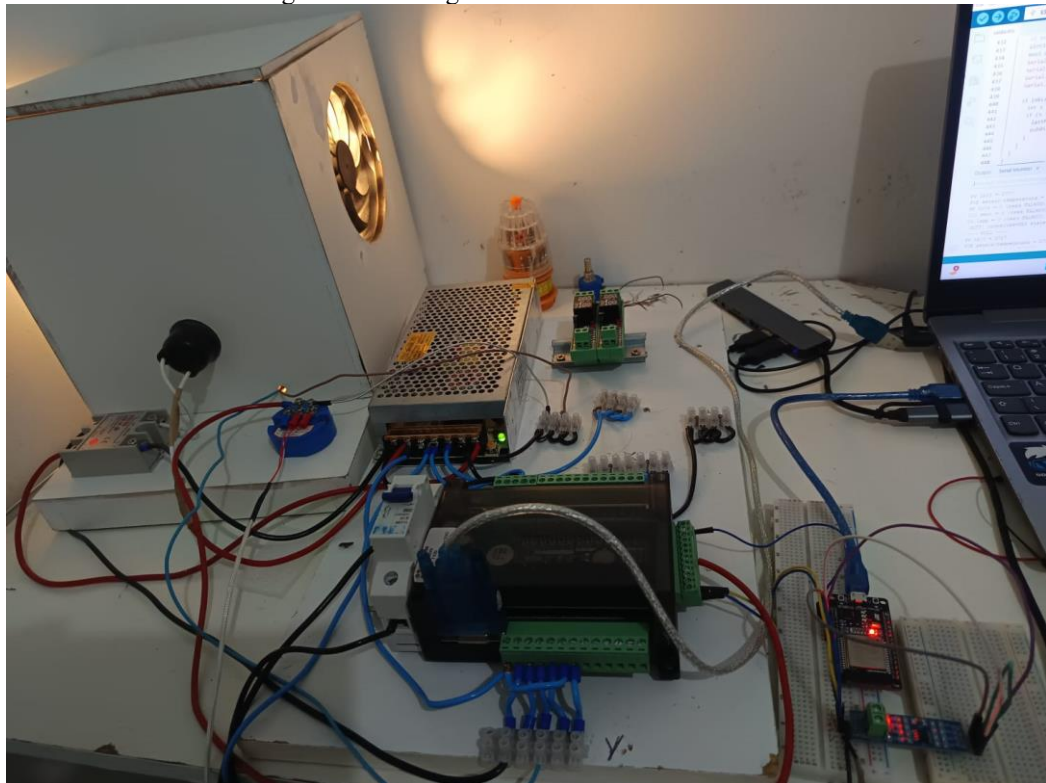
4 RESULTADOS DA PESQUISA

A construção da bancada didática resultou em um protótipo funcional que integra com sucesso equipamentos de automação industrial clássica a plataformas modernas de *Internet das Coisas* (IoT). O sistema operou de maneira estável, validando a arquitetura de três camadas proposta.

4.1 INTEGRAÇÃO FÍSICA DA BANCADA E MATERIAIS

A Figura 7 apresenta o resultado da montagem da bancada. A utilização de componentes de *hardware* de baixo custo e *softwares* de código aberto demonstrou a viabilidade técnica e econômica do projeto, atendendo ao objetivo de fornecer uma alternativa acessível para instituições de ensino frente aos altos custos dos sistemas industriais padronizados.

Figura 7 – Montagem Física da Bancada Didática.



Fonte: Os autores, 2026.

Tabela 1 – Custo dos materiais usados no protótipo didático.

Material	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Placa ESP32 WROOM	1	38,00	38,00
CLP FX3U-24MR	1	439,00	439,00
Sensor de temperatura PT100	1	58,00	58,00
Relé de estado sólido	1	35,00	35,00
Módulo transmissor PT100	1	42,00	42,00
Módulo conversor RS485 para TTL	1	14,00	14,00

Material	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Fios e cabos	-	20,00	20,00
Cooler Fan	2	13,00	26,00
Lâmpada incandescente	1	17,00	17,00
Fonte chaveada 24V 10A	1	45,00	45,00
Chapa MDF 6mm 400x400mm	6	59,00	354,00
Total	-	-	1.088,00

Fonte: Dados de pesquisa (2026).

A Tabela 1 ilustra os custos envolvidos na confecção do protótipo. Os resultados financeiros comprovam a viabilidade do protótipo frente às bancadas comerciais padronizadas, alinhando-se à perspectiva pedagógica descrita por Hotz (2014).

4.2 PARAMETRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DO CLP (GX WORKS2)

Concluída a etapa de integração do *hardware* e validação das conexões elétricas da bancada, procedeu-se à parametrização e programação dos *softwares* envolvidos no sistema.

No software GX Works2, foi realizada a configuração da transmissão serial com velocidade de 38,4 kbps para o *download* do código. Para a comunicação via protocolo Modbus RTU, utilizou-se o relé especial M8002, que permanece ativo apenas no primeiro ciclo de varredura (*scan*) da CPU. Essa estratégia garante que os parâmetros de comunicação serial e os modos de operação do CLP sejam inicializados na energização do sistema.

A parametrização da comunicação Modbus RTU através do registrador especial *D8120* foi feita a partir do valor hexadecimal *H4081*. O detalhamento do valor de 16 bits é apresentado na Tabela 2, conforme o manual disponibilizado pela Mitsubishi Electric.

Tabela 2 – Mapeamento dos bits do registrador D8120.

Bits	Parâmetro	Configuração
B0 – B3	Modo da porta	0001 = Modo protocolo
B4	Tamanho de dados	0 = 7 bits / 1 = 8 bits
B5	Paridade	0 = Sem paridade
B6	Bit de parada	0 = 1 stop bit
B7	Controle RS485	Habilitado
B8 – B11	Controle protocolo	Modo Modbus
B12 – B15	Reservado	–

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Mitsubishi Electric (2015, p. 503).

A conversão do valor de 16 bits (0100 0000 1000 0001) resulta no valor hexadecimal *H4081*. Na inicialização da programação em Ladder, executam-se três instruções principais conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Programação Ladder para comunicação ModBus RTU.



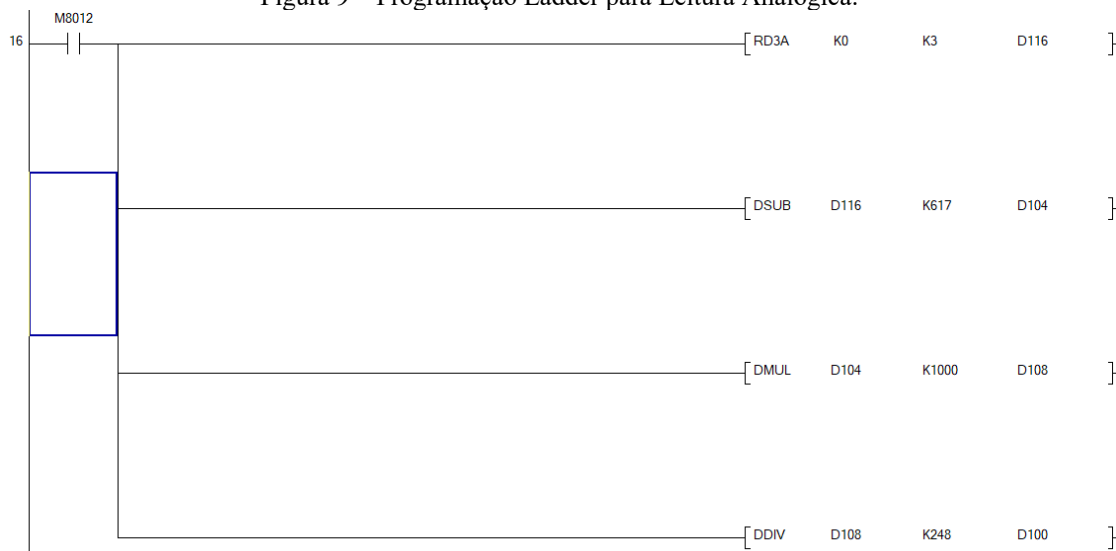
Fonte: Os autores, 2026.

Onde:

- i. *MOV H4081 D8120*: Configura a porta serial para o protocolo Modbus RTU Slave no padrão 8N1.
- ii. *MOV K1 D8121*: Define o endereço do CLP como Escravo ID 1 na rede.
- iii. *MOV K100 D8129*: Ajusta o tempo limite (*timeout*) da comunicação em 100 ms.

De forma semelhante, realizou-se a leitura do sinal analógico proveniente do sensor PT100. Com base no manual do fabricante do CLP, identificaram-se o endereço do módulo de expansão e o canal correspondente a ser lido. Como demonstrado na Figura 9, a leitura do canal analógico é executada pela instrução RD3A, que é acionada periodicamente a cada 100 ms pelo bit especial de relé M8012.

Figura 9 – Programação Ladder para Leitura Analógica.



Fonte: Os autores, 2026.

O valor bruto digitalizado é armazenado no registrador D116 e, em seguida, submetido a uma sequência de operações matemáticas em dupla palavra (DSUB, DMUL e DDIV) para

realizar o dimensionamento (escala) correto da temperatura, resultando no valor final convertido e salvo em D100.

Para permitir a troca de informações entre a lógica interna de controle do CLP e os sistemas externos de supervisão e *gateway*, definiu-se uma arquitetura de memória organizada. A Tabela 03 apresenta o mapeamento completo dos registradores internos do CLP FX3U utilizados no projeto, destacando suas identificações e respectivas funções no processo.

Tabela 33 – Mapeamento dos Registradores Modbus do CLP FX3U.

Registrador	Variável	Descrição
D8	D_LAMPADA	Estado ON/OFF da lâmpada de aquecimento.
D10	D_VENTONHA	Estado ON/OFF das ventoinhas de resfriamento.
D196	D_SP_RAW	Setpoint de temperatura.
D200	D_TEMP	Temperatura lida pelo PT100.

Fonte: Os autores, 2026.

Complementando a estrutura de controle no GX Works2, a comutação física da saída Y00 do CLP (responsável pelo acionamento da lâmpada de aquecimento) foi vinculada diretamente ao registrador D8 por meio de blocos comparadores que executam a instrução de reset (RST Y000) para desligar o atuador e set (SET Y000) para ligá-lo. Com a parametrização serial, o tratamento analógico e a lógica de saídas devidamente implementados no CLP, conclui-se a etapa de programação no GX Works2, viabilizando a integração do controlador com as demais camadas.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE DO GATEWAY IOT (ESP32)

A etapa seguinte consistiu na integração com o elemento intermediário da arquitetura. Na Camada de Gateway, o microcontrolador ESP32 executa um *firmware* desenvolvido em C++ na plataforma Arduino IDE atuando como uma ponte de comunicação bidirecional entre o protocolo industrial (Modbus RTU via RS-485) e o protocolo de rede (MQTT via Wi-Fi).

Para viabilizar a arquitetura proposta, foram integradas três bibliotecas fundamentais, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Bibliotecas utilizadas.

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ModbusRTUMaster.h>
```

Fonte: Os autores, 2026.

Dentre as quais, destacam-se as seguintes funções operacionais:

- WiFi.h: Responsável pelo gerenciamento da *interface* de rede sem fio e associação à rede local.
- PubSubClient.h (de Nick O'Leary): Implementa as rotinas de mensageria no modelo Publicar/Assinar (*Publish/Subscribe*) junto ao broker MQTT.
- ModbusRTUMaster.h: Provê o controle serial RS-485, assumindo a função de mestre da rede Modbus.

O processamento do código fundamenta-se na troca de dados em duas direções: o fluxo de monitoramento (leitura dos registradores do CLP via Modbus RTU e publicação no broker MQTT) e o fluxo de comando (recebimento dos tópicos MQTT e escrita nos registradores do CLP). O mapeamento entre as variáveis do controlador e a estrutura de tópicos MQTT é apresentado na Tabela 4.

Tabela 04 – Mapeamento entre Registradores Modbus e Tópicos MQTT.

Variável	Tópico MQTT	Direção do Fluxo	Função / Payload
D_LAMPADA	atuadores/lampada	Bidirecional	Controle e leitura do <i>status</i>
D_VENTONHA	atuadores/ventoinha	Bidirecional	Controle e leitura do <i>status</i>
D_SP_RAW	controle/setpoint	Node-RED → ESP32	Escrita do <i>setpoint</i>
D_TEMP	sensor/temperatura	ESP32 → Node-RED	Publicação da temperatura

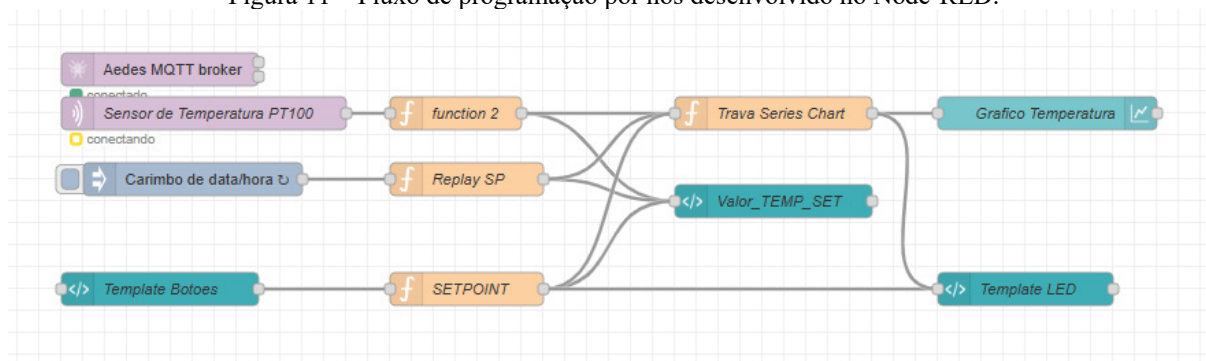
Fonte: Os autores, 2026.

4.4 PLATAFORMA SUPERVISÓRIA E DASHBOARD WEB (NODE-RED)

Concluída a implementação da camada *gateway*, iniciou-se o desenvolvimento da plataforma supervisória utilizando o Node-RED. Essa etapa foi responsável por receber as mensagens publicadas pela ESP32, processar as variáveis do sistema e disponibilizar ao usuário uma interface gráfica para monitoramento e controle remoto da bancada didática.

A Figura 11 apresenta o fluxo desenvolvido no Node-RED. Observa-se que a arquitetura foi organizada em blocos responsáveis pela comunicação MQTT, tratamento das variáveis recebidas da ESP32, atualização do dashboard e publicação do valor de setpoint para o sistema de controle. Os nós de função (*Function*) realizam a conversão e validação dos dados antes de sua apresentação ao usuário, garantindo maior confiabilidade na supervisão do processo. Os nós MQTT são responsáveis pela troca de informações entre o *gateway* e a *interface* supervisória, enquanto os componentes do *Dashboard* realizam a visualização das variáveis e a interação do operador com o sistema.

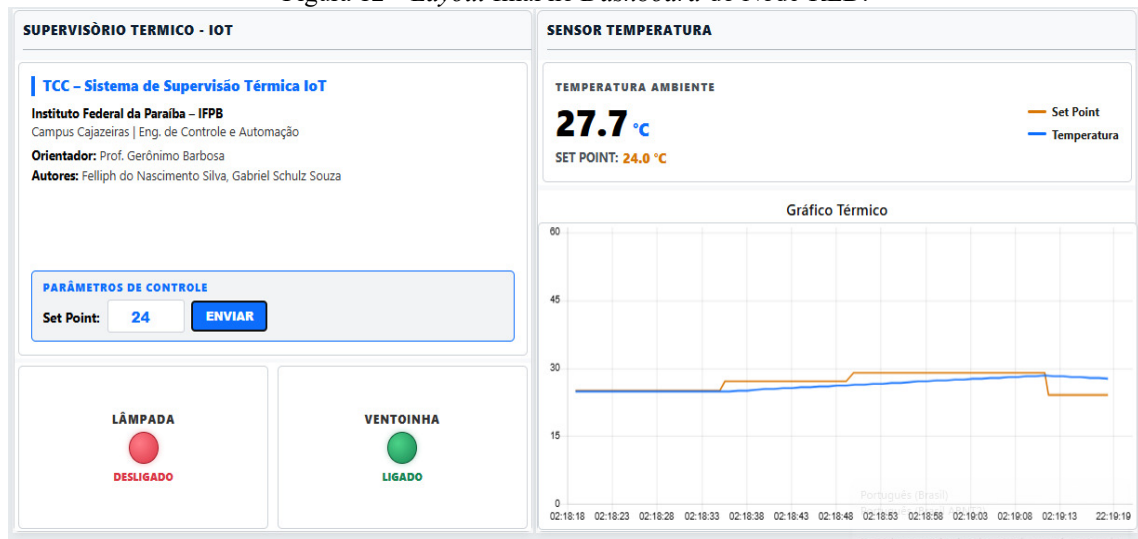
Figura 11 – Fluxo de programação por nós desenvolvido no Node-RED.



Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 12 apresenta a *interface* final desenvolvida no Node-RED para supervisão da bancada térmica. O *dashboard* foi projetado buscando simplicidade e facilidade de utilização, permitindo que o operador acompanhe o comportamento do processo em tempo real.

Figura 12 – Layout final no Dashboard do Node-RED.



Fonte: Os autores, 2026.

Na parte superior da *interface* são apresentadas informações referentes ao projeto, em seguida, encontra-se o painel de configuração dos parâmetros de controle, no qual o operador pode definir o valor do *setpoint* e enviá-lo remotamente para o CLP através da comunicação MQTT. Na parte inferior do *dashboard* são exibidos LEDs referentes ao estado dos atuadores do sistema. Esses parâmetros permitem identificar, em tempo real, se a lâmpada responsável pelo aquecimento e a ventoinha utilizada no resfriamento encontram-se acionadas ou desligadas, facilitando o acompanhamento da lógica ON/OFF implementada.

4.5 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E AVALIAÇÃO DIDÁTICA

Durante os ensaios experimentais, verificou-se que o *dashboard* respondeu de maneira satisfatória às mensagens publicadas, apresentando atualização em tempo real das variáveis do processo. Dessa forma, a arquitetura proposta foi capaz de integrar, de forma eficiente, um Controlador Lógico Programável, um *gateway* baseado em ESP32 e uma plataforma supervisória desenvolvida em Node-RED. A comunicação entre os dispositivos ocorreu de maneira estável por meio dos protocolos Modbus RTU e MQTT, permitindo o monitoramento remoto da temperatura, o envio do valor de *setpoint* e o acompanhamento do estado dos atuadores em tempo real.

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que a bancada didática atendeu à proposta de constituir uma solução de baixo custo para o aprendizado de sistemas de controle térmico, além de custar uma fração do valor de soluções similares disponíveis no mercado. A título de comparação, o orçamento da bancada de controle da Datapool (Figura 13), realizado em julho de 2026, resultou em R\$ 9.568,84, já incluído o frete, com prazo de entrega de 60 dias após a confirmação do pedido.

Figura 13 – Bancada industrial de controle de vazão, nível e temperatura Datapool.



Fonte: Datapool Eletrônica (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um *kit* didático de baixo custo, planejado inicialmente para utilização nas atividades práticas do Instituto Federal do Sertão Paraibano (IFSPB) - Campus Cajazeiras.

A motivação para o projeto decorre das recorrentes dificuldades enfrentadas por instituições de ensino público na aquisição de equipamentos comerciais, as quais esbarram no alto custo e na possível incompatibilidade tecnológica ou metodológica com a estrutura pedagógica adotada.

Conclui-se que o incentivo ao desenvolvimento interno de soluções pela própria comunidade acadêmica viabiliza a obtenção de plataformas personalizadas. Dessa forma, é possível suprir as demandas específicas da instituição com um investimento financeiro significativamente inferior em comparação às alternativas disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS

CORREA, Remington Phelipe da Silva. **Solução de monitoramento de usinas fotovoltaicas utilizando Gateway Modbus/MQTT**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

DATAPOL ELETTRÔNICA. **Bancada de controle de vazão, nível e temperatura**. Disponível em: <https://eletronica.datapool.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2026.

HOTZ, J. S. **Bancada didática para controle de nível e temperatura**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

MAGALHÃES, M. S. A inserção da indústria 4.0 nos cursos de engenharia: desafios e perspectivas para a integração de TI e TO. **Revista Brasileira de Ensino de Engenharia**, v. 30, 2022.

MARTINS, F. M. P. **Controle de temperatura on/off aplicado em uma estufa estacionária industrial**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MITSUBISHI ELECTRIC. **MELSEC FX Series User's Manual – Data Communication Edition**. Tóquio: Mitsubishi Electric Corporation, 2015. p. 503. Disponível em: https://melsec-fx.ru/docs/mitsubishi/FX_users_manual_data_communication_edition_EN.pdf. Acesso em: 20 fev. 2026.

NEVES, L. R. Controle da planta de manufatura da SMC via dispositivo remoto com uso da plataforma Node-RED. In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (CONEPE), 6., 2019, Campos dos Goytacazes. **Anais [...]**. Campos dos Goytacazes, 2019.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

OLIVEIRA, A. G. Implementação de dashboards em Node-RED para monitoramento remoto de sistemas automatizados via Modbus. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI), 2022. **Anais [...]**. 2022.

PASETTI, Giovani. Instrumentação – Parte 10: Controle. Luzerna: Instituto Federal Catarinense (IFC) – Campus Luzerna, 2018. **Notas de aula**. Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/giovani-pasetti/wp-content/uploads/sites/35/2018/11/Instrumenta%C3%A7%C3%A3o-Parte-10-Controle.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ROCHA, P. H. Aplicação de estratégias de controle avançado e IoT em processos didáticos: preparando engenheiros para a digitalização. **IEEE Latin America Transactions**, v. 21, n. 4, 2023.

TEKNIMAS. **CLP FX3U-24MT 14 entradas 10 saídas com analógicas com RS-485**. Novo Hamburgo: Tekni-Mas Máquinas LTDA. Disponível em: <https://loja.teknimas.com.br/clp-fx3u-24mt-14-entradas-10-saidas-com-analogicas-com-rs485>. Acesso em: 04 fev. 2026.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

TCC corrigido com ficha catalográfica

Assunto:	TCC corrigido com ficha catalográfica
Assinado por:	Felliph Nascimento
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Felliph do Nascimento Silva, DISCENTE (202112240008) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CAMPUS CAJAZEIRAS, em 14/08/2026 20:47:24.

Este documento foi armazenado no SUAP em 14/08/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1952184
Código de Autenticação: d3fe0a0481

