

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

Juan Said Fernandes Matos

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE POR MEIO DA  
UTILIZAÇÃO DE REMOTAS DE CAMPO NA DESCENTRALIZAÇÃO  
DO CLP**

Betim  
2025

JUAN SAID FERNANDES MATOS

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE POR MEIO DA  
UTILIZAÇÃO DE REMOTAS DE CAMPO NA DESCENTRALIZAÇÃO  
DO CLP**

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. Ma. Michelle Mendes Santos

Betim  
2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

M433o Matos, Juan Said Fernandes

Otimização de sistemas de controle por meio da utilização de remotas de campo na descentralização do CLP / Juan Said Fernandes Matos. – 2025.

47 f. : il.

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

Orientação: Prof. Ma. Michelle Mendes Santos

1. Controladores programáveis. 2. CLP. 3. Sistemas de controle. 4. Engenharia de Controle e Automação. I. Matos, Juan Said Fernandes. II. Título.

CDU: 681.5



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Betim**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação**  
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG  
3135976360 - www.ifmg.edu.br

**Ata de Defesa de TCC de Juan Said,**  
**realizada em 28 de julho de 2025**

Aos 28 dias do mês de Julho do ano de 2025, às dezoito horas, nas dependências do IFMG – *Campus* Betim, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Michelle Mendes Santos e demais membros, Bruno Porto Caetano e Ricardo de Lima Silva. Nesta ocasião o discente **JUAN SAID FERNANDES MATOS** do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação no IFMG – *Campus* Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Revitalização de Sala Elétrica: O uso das remotas de campo na descentralização do CLP” e foi **APROVADO**, com 75 ( Setenta e cinco ) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação da discente e sua orientadora no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o conseqüente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento das exigências da banca avaliadora e demais procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados até a data limite de 10/09/2025. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e conseqüente reprovação.

A sessão foi encerrada às dezenove horas e trinta minutos. Para constar, eu, Michelle Mendes Santos, redigi a presente ata, foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Betim, 04 de setembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Mendes Santos, Professora**, em 04/09/2025, às 18:39, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo de Lima Silva, Professor**, em 08/09/2025, às 13:26, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2441675** e o código CRC **0087888E**.



Documento assinado digitalmente

**BRUNO PORTO CAETANO**

Data: 12/09/2025 17:31:31-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico este trabalho aos meus pais, que me proporcionaram, além da vida física, o auxílio necessário para que pudesse me tornar um Engenheiro.

## **AGRADECIMENTOS**

A jornada de construção deste trabalho foi marcada por aprendizados, desafios e superações, e não poderia ter sido concluída sem o apoio e incentivo de pessoas muito especiais.

Em primeiro lugar, agradeço a meus pais, Anderson e Márcia, pelo amor incondicional, pelos valores que me ensinaram e por sempre acreditarem no meu potencial. Ao meu irmão Igor, que mesmo com nossas diferenças e intrigas, consegue me ajudar quando preciso.

À minha namorada Júlia, por todo o carinho, paciência e apoio durante os períodos mais intensos deste projeto. Sua presença foi fundamental para que eu me mantivesse firme até o fim.

Agradeço também aos meus avós Jandira e Elcino, pela sabedoria, orações e por saber que sempre torcerem por mim com tanto amor.

Meus sinceros agradecimentos aos meus amigos do EC, que estiveram ao meu lado nos momentos de convivência e descontração, e também aos amigos que fiz durante o curso, com quem compartilhei aprendizados, trabalhos, risadas e experiências que levarei para toda a vida.

Por fim, também agradeço à minha orientadora Michelle, por dedicar seu tempo para me auxiliar.

A todos vocês, meu muito obrigado. Este trabalho é fruto não só do meu esforço, mas também da força que recebi de cada um de vocês.

“A morte do homem começa no instante em que ele desiste de aprender!” **Albino Teixeira**

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar os impactos da descentralização de sistemas de controle por meio da utilização de remotas de campo, tomando como base um estudo de caso real realizado durante um projeto executado numa empresa integradora, aplicado a um sistema transportador de correias de uma empresa de mineração. Inicialmente, a planta possuía uma arquitetura centralizada baseada em um CLP SLC 500, onde todos os dispositivos de campo estavam diretamente conectados ao controlador. A proposta de modernização consistiu na substituição por um ControlLogix 5000, utilizando módulos de remotas Armor Block conectados via rede Ethernet/IP, com o auxílio de switches Stratix 5700 e conversores de mídia. A metodologia aplicada envolveu a análise dos resultados obtidos através do caso estudado por meio de reuniões entre engenheiros responsáveis e operadores locais, estudo de artigos e análises fornecidas, desenvolvimento de duas plantas representativas (antes e depois da descentralização) para análise comparativa e demonstração dos ganhos técnicos/operacionais. Os resultados obtidos apontam redução significativa no volume de cabeamento, maior facilidade de manutenção, padronização da arquitetura, possibilidade de expansão modular e adequação à NR10. O estudo conclui que a descentralização representa uma solução eficiente e sustentável para ambientes industriais que buscam flexibilidade, confiabilidade e redução de custos operacionais.

**Palavras-chave:** Automação Industrial; CLP; Remotas de Campo; e Descentralização.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the impacts of decentralizing control systems through the use of field remote I/O modules, based on a real case study conducted during a project carried out by a system integrator company, applied to a conveyor belt system in a mining company. Initially, the plant operated under a centralized architecture using an SLC 500 PLC, where all field devices were directly connected to the controller. The modernization proposal involved replacing it with a ControlLogix 5000, using Armor Block remote modules connected via Ethernet/IP network, with the support of Stratix 5700 switches and media converters. The applied methodology included the analysis of results obtained through meetings with responsible engineers and local operators, study of articles and provided technical documentation, and the development of two representative layouts (before and after decentralization) for comparative analysis and demonstration of technical and operational gains. The results show a significant reduction in cable volume, greater ease of maintenance, standardized architecture, potential for modular expansion, and compliance with NR10 safety standards. The study concludes that decentralization represents an efficient and sustainable solution for industrial environments seeking flexibility, reliability, and reduced operational costs.

**Keywords:** Industrial Automation; PLC; Remote I/O; and Decentralization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma etapas de um sistema de automação . . . . .	18
Figura 2 – Painel de Remotas de Campo Rockwell . . . . .	21
Figura 3 – Pirâmide da Automação Industrial . . . . .	22
Figura 4 – Módulo Entrada Digital 1734-IB8 . . . . .	23
Figura 5 – Módulo Saída Digital 1734-OB8 . . . . .	24
Figura 6 – Módulo Entrada Analógica 1756-IF8 . . . . .	25
Figura 7 – Módulo Saída Analógica 1756-OF8 . . . . .	26
Figura 8 – Topologia . . . . .	27
Figura 9 – Planta da Empresa de Mineração . . . . .	33
Figura 10 – Sala de Controle SE-3130KP-04 . . . . .	35
Figura 11 – Exemplo de uso do CLP SLC 500 . . . . .	36
Figura 12 – Representação da planta com CLP Centralizado . . . . .	37
Figura 13 – Exemplo de uso do CLP Controllogix 5000 . . . . .	39
Figura 14 – Armor Block . . . . .	40
Figura 15 – Representação da planta com CLP Descentralizado . . . . .	41
Figura 16 – Representação da Remota Armor Block . . . . .	42
Figura 17 – Representação do novo CLP . . . . .	42
Figura 18 – Representação do Conversor de Mídia . . . . .	43
Figura 19 – Representação do <i>Switch</i> Stratix . . . . .	43
Figura 20 – Representação do ETAP . . . . .	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AS	Actuator Sensor
CIP	Common Industrial Protocol
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAP	End Terminal Access Points
I/O	Input/Output (Entrada e Saída)
IHM	Interface Homem Máquina
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
LED	Light Emitting Diode
NR	Norma Regulamentadora
NR10	Norma Regulamentadora de Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
ODVA	Open DeviceNet Vendors Association
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VAC	Tensão em Corrente Alternada
VDC	Tensão em Corrente Contínua

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Organização do Trabalho . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Projeto de Automação . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>NR10 - Norma Regulamentadora de Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Remotas de Campo . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Módulos de Entradas Digitais . . . . .</i></b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Módulos de Saídas Digitais . . . . .</i></b>	<b>23</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Módulos de Entradas Analógicas . . . . .</i></b>	<b>24</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Módulos de Saída Analógicas . . . . .</i></b>	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>Rede EtherNet/IP . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Estudos semelhantes . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Etapas Realizadas no Projeto de Descentralização . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Levantamento de Alternativas e Escolha da Solução . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Etapas Realizadas no Estudo de Caso . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Estrutura da Análise Comparativa . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelo inicial da planta com CLP Centralizado . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Etapas iniciais do projeto de revitalização . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Proposta de descentralização e novo modelo com remotas de campo . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Comparativo entre os modelos Centralizado e Descentralizado . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Sistemas de automação industrial atuam na operação do controle de processos de produção, processos compostos por diversos componentes como sensores, atuadores, controladores lógicos programáveis, interfaces homem-máquina, *switches*, inversores de frequência, entre outros. Todos os equipamentos que fazem parte de um projeto de automação estão ligados diretamente ao controlador, o que por muita das vezes é considerado não ideal para uma aplicação, devido a diversas limitações que são impostas às operações e à dificuldade de integração com as tecnologias mais recentes.

Neste sentido, pode-se destacar fatores como as limitações de escalabilidade, afinal, a medida que os sistemas vão ficando cada vez mais complexos vão crescendo também o número de equipamentos e processos ligados ao CLP.

A falta de flexibilidade para realizar alterações e ajustes rapidamente, impacta diretamente a capacidade da empresa de se adaptar a novas demandas do mercado em se integrar com tecnologias modernas como a IoT ou de otimizar processos internos de maneira eficiente, estando diretamente relacionado com as dificuldades na manutenção desses sistemas, podendo ser requerida modificação ou reparo feitos diretamente nos equipamentos físicos.

Com o passar dos anos foi se tornando cada vez mais comum o estudo para evitar tal fato e possuir um intermédio entre os equipamentos e o CLP, o qual se destacou principalmente a utilização de remotas de campo para realizar a comunicação dos equipamentos com o controlador. É o caso da empresa integradora em questão, que realiza diversos projetos de descentralização do CLP, cuja ideia inicial para discussão do tema teve como base um projeto iniciado em fevereiro 2022 até o fim de outubro de 2023, o qual foi concluído com êxito e aprovado pelos clientes finais.

Essas interfaces são projetadas para facilitar a comunicação, o monitoramento e o controle dos dispositivos industriais, permitindo uma operação mais eficiente e integrada. Por possuir um custo reduzido de instalação e operação, as empresas optam pela utilização de remotas visando principalmente a descentralização do CLP em suas plantas de automação, conseqüentemente reduzindo o volume de cabos presente na sala de controle em até 80% quando se comparado às arquiteturas utilizadas anteriormente, habilitando uma economia de espaço de até 50% com modelos de remota compactos e com sistemas pré-montados (ENGEREY, 2019).

O uso de remotas provou ter uma comunicação eficiente entre o controlador e os equipamentos da planta, e é essencial para garantir que os dados sejam transmitidos de forma rápida e confiável, o que possibilita monitoramento em tempo real e o controle preciso dos processos industriais (BOYER, 2004).

A integração de uma variedade de equipamentos industriais também é um fator a se destacar, pois possibilita um controle distribuído, podendo ser enviados comandos do CLP para os dispositivos, e dos equipamentos de volta para o controlador.

Essas integrações geralmente incluem recursos de segurança avançados, como autenticação de usuários, criptografia de dados e controle de acesso, garantindo a proteção dos sistemas

contra ameaças cibernéticas. Além disso, muitas interfaces remotas também oferecem recursos de redundância para garantir a continuidade das operações em caso de falhas ou interrupções.

As conexões realizadas diretamente no CLP costumam operar com tensões mais elevadas, como 110V ou 220V em corrente alternada (VAC), principalmente nos circuitos de alimentação de dispositivos de campo. Essas tensões, quando presentes em painéis centralizados, aumentam significativamente o risco de choque elétrico e dificultam a realização de manutenções seguras. Com a implementação das remotas de campo, essas ligações passam a ser feitas utilizando sinais de controle em tensões mais baixas, geralmente 24V em corrente contínua (VDC), que são compatíveis com os módulos de entrada e saída das remotas.

Essa redução nos níveis de tensão nos pontos de intervenção atende diretamente aos requisitos da NR10, que preconiza a minimização de riscos elétricos e a adoção de medidas que garantam maior segurança durante a operação e manutenção de sistemas elétricos industriais. Dessa forma, a utilização de remotas contribui significativamente para a adequação normativa e para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e controlado.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho visa apresentar um estudo de caso, cujo objetivo é discutir a implementação de um sistema com remotas de campo quando comparado a um sistema de automação cujos equipamento estejam ligados diretamente ao controlador lógico programável, provando assim sua eficiência e os benefícios da utilização de tal artefato. Os objetivos específicos são:

- Realizar um comparativo entre as duas metodologias de projetos de automação;
- Demonstrar que o projeto atendeu os tópicos 10.2.1, 10.2.8, 10.3, 10.3.3.1 e 10.3.7 da NR10;

## 1.2 Organização do Trabalho

O primeiro capítulo do trabalho consiste na contextualização do processo utilizado antes da revitalização e os benefícios da utilização de remotas.

No capítulo 2 é relatado a fundamentação teórica, no qual são abordados conceitos importantes para o entendimento do trabalho, juntamente com projetos similares que servem para realizar a descentralização do CLP no projeto.

No capítulo 3 são descritas as ferramentas que foram utilizadas no desenvolvimento do estudo de caso de otimização de sistemas de controle.

No capítulo 4 será discutido os resultados obtidos que serão analisados baseado na proposta inicial.

No capítulo 5 relata as conclusões e possíveis contribuições futuras do trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentadas as principais obras, artigos técnicos, trabalhos acadêmicos e manuais que serviram de base para a elaboração deste trabalho.

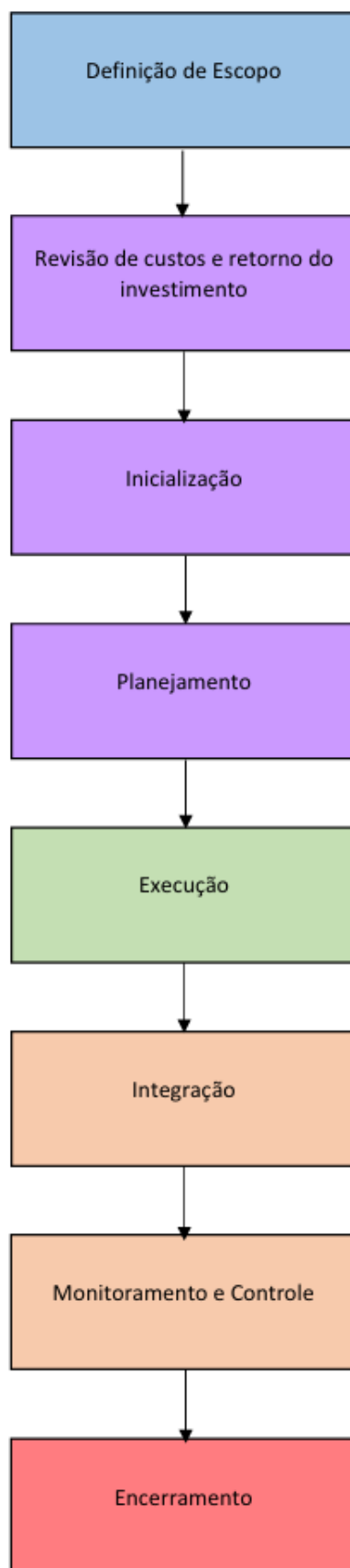
### **2.1 Projeto de Automação**

Um projeto de automação industrial é um conjunto de atividades planejadas e coordenadas para implementar sistemas automáticos em um ambiente industrial. Esses sistemas são projetados para controlar e monitorar processos de produção, otimizando a eficiência, a qualidade e a segurança das operações.

Para Roggia e Fuentes (2016), o sucesso de um sistema ou projeto de automação está fortemente vinculado à elaboração de uma metodologia de desenvolvimento de todo o projeto. O planejamento deve ser o mais completo e detalhado possível, sem perder de vista que o objetivo final é a obtenção de um resultado concreto que traga benefícios a todos os envolvidos no processo.

Compostos por diversos equipamentos como sensores, atuadores, softwares, entre outros, um sistema de automação possui diversas etapas relacionadas à sua elaboração. Pode-se destacar como fundamentais nove etapas: o escopo, a revisão de custos e retorno do investimento, a iniciação, o planejamento, a execução, a implementação, a integração, monitoramento e controle e o encerramento (CIMAUTOMAÇÃO, 2022). O fluxograma presente na Figura 1 demonstra todas as etapas de maneira sequencial.

Figura 1 – Fluxograma etapas de um sistema de automação



- **Definição do escopo:** Objetiva a elaboração da proposta e um documento básico para a avaliação técnica e comercial da automação planejada;
- **Revisão de custos e retorno do investimento:** Consiste no detalhamento orçamentário, analisando também o *payback* com o cliente;
- **Inicialização:** Nesta etapa, o projeto recebe a sua autorização formal e o projeto está pronto para ser desenvolvido;
- **Planejamento:** Consiste na elaboração de planos para colocar todo o projeto em prática.
- **Execução:** É a etapa que o planejamento vai ganhar vida, as ideias se tornam fatos e os resultados começam a aparecer;
- **Implementação:** Durante a implementação são efetuados os testes finais, elaborados os manuais de operação e outras ações que se façam necessárias;
- **Integração:** A integração considera o treinamento das pessoas que vão usar o sistema de automação, assegurando que a solução é completamente integrada às necessidades do cliente;
- **Monitoramento e controle:** Permite a análise dos resultados do trabalho;
- **Encerramento:** Cliente recebe os resultados do projeto.

## 2.2 NR10 - Norma Regulamentadora de Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

A norma regulamentadora número 10 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978), estabelecida pela Portaria MTE nº 598, define as condições mínimas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com instalações e serviços em eletricidade.

Essa norma se aplica desde as etapas de projeto até a manutenção, abrangendo também a operação e os trabalhos em suas proximidades. No contexto deste trabalho, que aborda a descentralização do CLP por meio do uso de remotas de campo, a aplicação da NR10 é especialmente relevante. Isso porque a descentralização contribui para a redução da concentração de conexões elétricas em painéis centralizados, permitindo que sensores e atuadores sejam conectados diretamente em campo, em módulos com grau de proteção elevado. Essa configuração reduz significativamente a necessidade de intervenções humanas em ambientes de maior risco elétrico, contribuindo para a mitigação de acidentes e favorecendo a manutenção preventiva e corretiva com maior segurança.

Além disso, a descentralização com remotas de campo permite que os circuitos de sinal e controle operem, em sua maioria, com tensões reduzidas, tipicamente de 24VDC, em substituição

às tensões mais elevadas como 110VAC ou 220VAC, anteriormente utilizadas nas conexões diretas ao CLP centralizado.

Tal prática atende ao item 10.2.1, que determina a implementação de medidas de controle do risco elétrico em todas as fases do trabalho, e também ao item 10.2.8, que estabelece a obrigatoriedade de adoção de medidas de proteção coletiva sempre que existirem riscos não eliminados por medidas de caráter geral. Dentre essas medidas coletivas, destaca-se o cumprimento do item 10.2.8.2, que recomenda o emprego de tensão de segurança como uma estratégia eficaz de prevenção em áreas com risco elétrico.

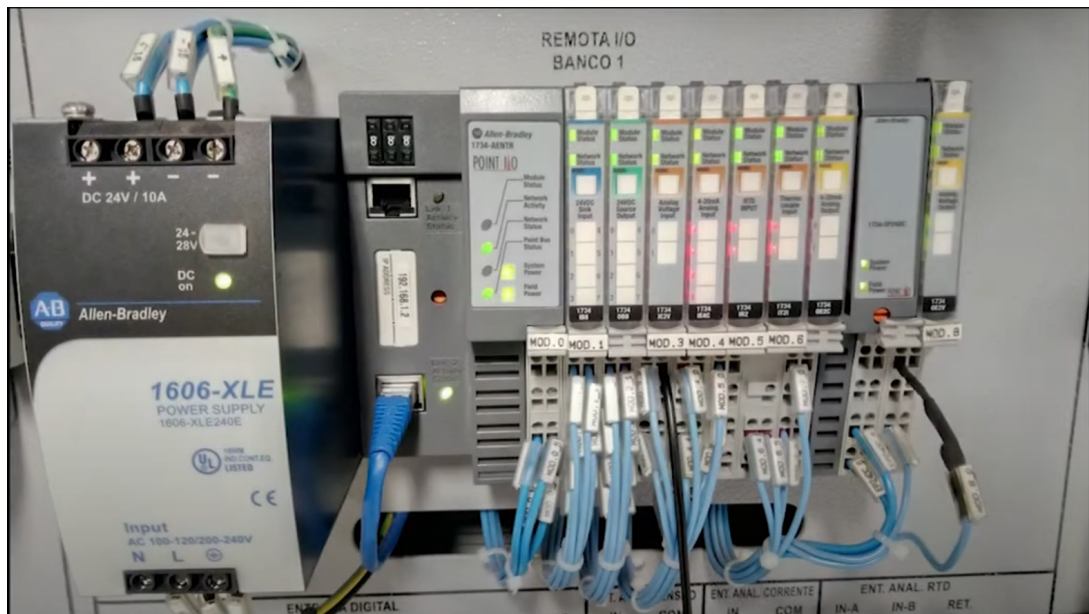
A arquitetura descentralizada também está alinhada aos requisitos dos itens 10.3 e 10.3.3.1, que estabelecem diretrizes para segurança nas instalações elétricas e exigem dispositivos de proteção, seccionamento e identificação adequada das instalações. Ainda, o item 10.3.7 é contemplado, pois o projeto das instalações elétricas ficam à disposição dos trabalhadores autorizados, das autoridades competentes e de outras pessoas autorizadas pela empresa, se mantendo sempre atualizado.

Dessa forma, a adoção de remotas de campo não apenas moderniza a estrutura de automação da planta, mas também reforça o atendimento às exigências legais da NR10, promovendo um ambiente mais seguro e tecnicamente adequado às normas vigentes.

### **2.3 Remotas de Campo**

As remotas de campo, também conhecidas como I/O remoto, são dispositivos utilizados em sistemas de automação industrial e instalados em painéis elétricos. Elas recebem sinais das máquinas e de seus diversos componentes por meio das entradas e saídas, como sensores, atuadores e outros dispositivos de campo. A Figura 2 demonstra como é um painel de remotas de campo Rockwell fisicamente.

Figura 2 – Painel de Remotas de Campo Rockwell



Fonte: MARQUIERE, 2019.

Quando o sinal é recebido, as remotas o transmitem por protocolo de rede aos CLPs, concentrando todos os sinais em um único ponto de rede. São utilizados protocolos de comunicação industrial para trocar dados com o CLP, sendo os exemplos mais comuns o uso de: Modbus, Profibus, Profinet, Ethernet/IP, entre outros que fornecem padrões de comunicação confiáveis e eficientes para a interação entre dispositivos de campo e sistemas de controle. Dessa forma, através de diversas unidades remotas, um único CLP irá comandar dezenas de máquinas de uma só fábrica ao mesmo tempo. Isso resultará na economia da infraestrutura para a aquisição dos sinais de campo.

Projetadas para lidar com a organização e controle de entradas (correspondem aos sinais e dados coletados pelos sensores) e saídas (representam os comandos enviados aos atuadores para controlar processos físicos) dos dispositivos de campo, as remotas de campo estão localizadas no nível de controle de processos que é, segundo Márcio (2020), responsável por controlar todos os equipamentos presentes no nível 1 (referente aos Dispositivos de Campo) e repassar os comandos dos superiores para as máquinas, como representado na Figura 3.

Figura 3 – Pirâmide da Automação Industrial



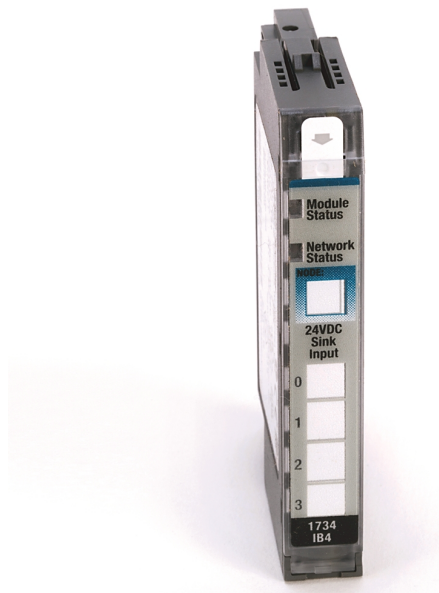
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

### 2.3.1 Módulos de Entradas Digitais

Os módulos de entradas digitais são essenciais para a automação industrial, permitindo a conexão de sensores e atuadores ao sistema da empresa. Eles são especialmente projetados para coletar sinais binários do chão de fábrica e funcionam em conjunto com CLPs e remotas. Esses equipamentos oferecem a capacidade de testar os sinais e o funcionamento dos dispositivos conectados por meio do software de comissionamento *I/O Check*, proporcionando uma gestão eficiente e confiável dos processos industriais.

Esses módulos utilizados no sistema são disponibilizados em diferentes configurações, com opções de 2, 4, 8 ou 16 canais, permitindo flexibilidade na aplicação conforme a demanda do processo. Alguns modelos com 2 ou 4 canais possuem pontos de alimentação integrados, o que viabiliza a ligação direta de sensores ao módulo, otimizando o cabeamento e a organização do sistema. Além disso, todos os módulos contam com filtros de velocidade configurados em 3ms ou 0.2ms, recurso que contribui para a supressão de ruídos e picos transitórios nos sinais de campo, garantindo maior confiabilidade na leitura dos estados digitais. A Figura 4 demonstra como é um módulo de entrada digital Rockwell de 8 canais (1734-IB8).

Figura 4 – Módulo Entrada Digital 1734-IB8



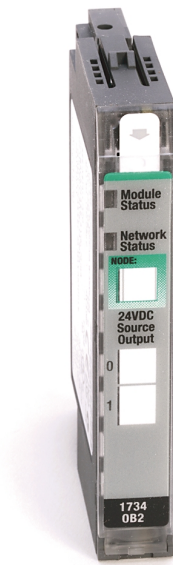
Fonte: ROCKWELL AUTOMATION, 2013.

### 2.3.2 Módulos de Saídas Digitais

Os módulos de saídas digitais são responsáveis por enviar comandos de controle a dispositivos de campo, como válvulas solenóides, contadores e relés. Estão disponíveis em versões com diferentes quantidades de canais, geralmente em configurações de 4, 8 ou 16 saídas, o que permite sua aplicação em sistemas de diversos portes. Esses módulos operam em tensões típicas de 24VDC e são projetados para suportar cargas indutivas e resistivas com proteção interna contra curto-circuito e sobrecorrente.

Além disso, alguns modelos incluem diagnóstico de falha por canal, permitindo a detecção rápida de sobrecarga ou interrupção na saída, o que facilita a manutenção e a confiabilidade do sistema. A Figura 5 ilustra um exemplo de módulo de saída digital Rockwell de 8 canais (1734-OB8).

Figura 5 – Módulo Saída Digital 1734-OB8



Fonte: ROCKWELL AUTOMATION, 2013.

### 2.3.3 Módulos de Entradas Analógicas

Módulos de entrada analógica são dispositivos utilizados em sistemas de automação industrial para converter sinais analógicos, como temperatura, pressão ou nível, em valores digitais que podem ser processados pelos controladores. Eles são essenciais para o monitoramento contínuo de variáveis de processo, possibilitando o controle preciso em aplicações industriais.

A conversão do sinal analógico em valor digital é realizada com base em parâmetros mínimos e máximos de referência definidos conforme a faixa esperada da variável real (por exemplo, 0 a 100°C, correspondente a 4–20mA).

A alta resolução é especialmente importante em processos que demandam sensibilidade a pequenas variações, como em sistemas de controle de temperatura ou dosagem. A Figura 6 apresenta as principais características físicas de um módulo de entrada analógica Rockwell de 8 canais (1756-IF8).

Figura 6 – Módulo Entrada Analógica 1756-IF8



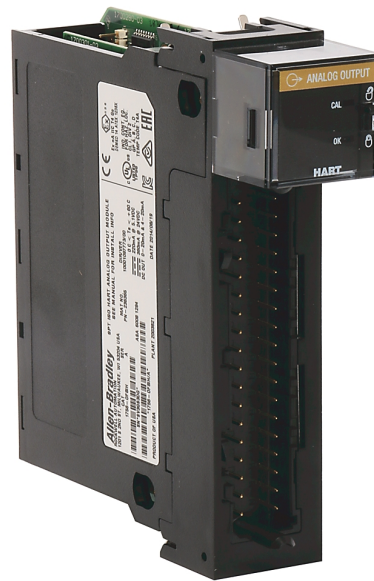
Fonte: ROCKWELL AUTOMATION, 2015.

### 2.3.4 Módulos de Saída Analógicas

Os módulos de saídas analógicas são utilizados para controlar dispositivos que requerem variação contínua de sinal, como inversores de frequência, válvulas proporcionais e atuadores analógicos. Normalmente operam em faixas padrão de corrente (4–20mA) ou tensão (0–10V), dependendo da aplicação.

Estes módulos permitem a geração de sinais analógicos com alta resolução e precisão, o que é essencial para processos que demandam controle proporcional. Além disso, contam com proteção contra curtos e detecção de falha de canal, aumentando a robustez da instalação. A Figura 7 apresenta um exemplo de módulo de saída analógica Rockwell de 8 canais (1756-OF8).

Figura 7 – Módulo Saída Analógica 1756-OF8



Fonte: ROCKWELL AUTOMATION, 2015.

Todos esses equipamentos contam com cabos blindados para a entrada de sinais, dessa forma as regras das normas de EMC, especialmente na IEC 61000 (ABNT, 1995), garantindo imunidade a surtos de tensão que podem afetar cabos de sinal e controle.

## 2.4 Rede EtherNet/IP

A rede EtherNet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) é um protocolo aberto amplamente utilizado na automação industrial, padronizado e mantido pela ODVA. Baseado na tecnologia Ethernet padrão IEEE 802.3 (IEEE, 2010), o EtherNet/IP estende os recursos das redes Ethernet comerciais para aplicações industriais, oferecendo suporte à comunicação em tempo real e ao controle de dispositivos distribuídos.

Um de seus principais diferenciais está no uso do modelo de objetos da CIP (Common Industrial Protocol), o qual permite a padronização da comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes. Essa característica garante interoperabilidade entre equipamentos como CLPs, IHMs, inversores, sensores inteligentes e remotas de campo, mesmo que de marcas distintas, desde que compatíveis com o protocolo.

A rede opera utilizando os protocolos TCP/IP e UDP/IP, possibilitando tanto comunicação determinística para aplicações de controle quanto troca de dados não críticos em aplicações de supervisão. Em sua implementação, o EtherNet/IP permite topologias flexíveis (estrela, linha, anel, etc.), além de suportar endereçamento IP, e integração com sistemas corporativos.

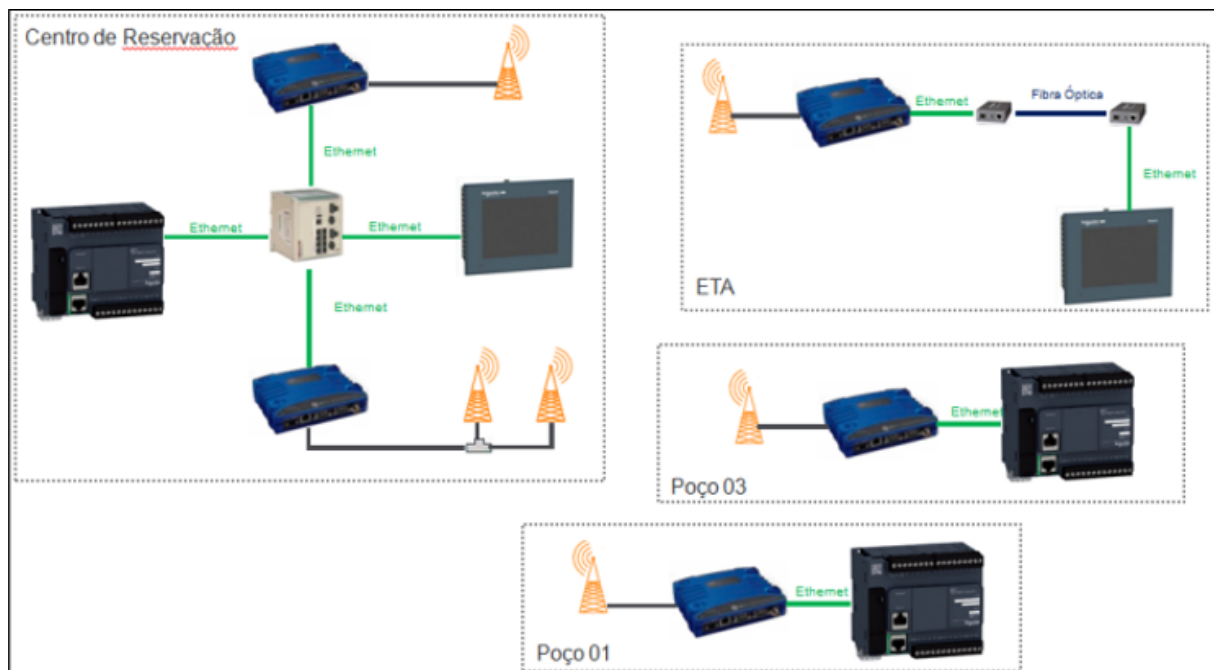
No contexto deste trabalho, a adoção da rede EtherNet/IP foi essencial para viabilizar a transição da arquitetura centralizada para um modelo descentralizado, garantindo robustez,

escalabilidade e comunicação eficaz entre os módulos remotos de campo e o controlador central, mesmo em ambientes industriais agressivos como os encontrados em plantas de mineração.

## 2.5 Estudos semelhantes

Com o intuito de atender o aumento das demandas providas das evoluções das plantas de automação industrial, a monografia: Comunicação entre áreas remotas em um sistema de abastecimento de água de Guedes (2016) estuda uma alternativa ao uso das remotas de campo trazendo protocolos de comunicação sem fio para as áreas remotas em um sistema de abastecimento de água localizado na cidade de Ibaiti, no estado do Paraná, vide topologia exibida na Figura 8.

Figura 8 – Topologia



Fonte: GUEDES, 2016.

O projeto apresenta uma topologia descentralizada baseada em comunicação wireless via rádio-modem, interligando quatro áreas principais: Centro de Reservação (estação central), Poço 01, Poço 03 e Estação de Tratamento de Água (ETA), consideradas estações remotas. Cada uma funciona da seguinte maneira:

- O Centro de Reservação funciona como núcleo central de controle, abrigando um CLP principal com múltiplos canais digitais e analógicos, uma IHM Ethernet, um *switch* industrial e um rádio-modem Ethernet compatível com rede Modbus TCP para comunicação com as áreas remotas.

- Os Poços 01 e 03 possuem um CLP local cada com portas Ethernet, além de suas próprias IHMs Ethernet e rádio-modems, permitindo autonomia local e comunicação com a estação central.
- A ETA conta com uma IHM Ethernet, conectada ao rádio-modem local por meio de fibra óptica, devido à grande distância, sendo necessário o uso de conversores de mídia Ethernet/fibra.

Toda a comunicação entre as estações é feita via rádio-modems que operam sobre o protocolo Modbus TCP/IP, reduzindo a necessidade de cabeamento físico entre áreas distantes. A interligação interna dos dispositivos no Centro de Reservação é realizada com cabos Ethernet industriais, organizados por meio de um *switch* de 4 portas ou mais, para garantir flexibilidade e expansões futuras.

A monografia em questão não possui o foco no uso das remotas de campo em si, mas nos protocolos de comunicação alternativos ao uso das remotas, com um enfoque principal em redes *wireless* industriais. A proposta visa reduzir o excesso de cabeamento, facilitar a instalação e permitir maior flexibilidade em ambientes industriais, especialmente em áreas com restrição de infraestrutura física.

Apesar da diferença na abordagem tecnológica, o objetivo central do trabalho em questão guarda semelhança com a proposta deste estudo, já que ambos buscam modernizar a arquitetura de controle e otimizar a infraestrutura de comunicação em ambientes industriais.

A comparação entre as duas abordagens reforça que existem múltiplas soluções viáveis para a modernização de sistemas industriais, e que a escolha entre comunicação remota cabeada ou *wireless* deve considerar fatores como ambiente, confiabilidade exigida, segurança e infraestrutura existente.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais, métodos e etapas adotadas para obtenção, tratamento e análise dos dados que fundamentam a proposta deste trabalho. O objetivo é garantir a reprodutibilidade da pesquisa e a clareza na condução do estudo de caso, cujos resultados são discutidos no Capítulo 4.

Por se tratar de um estudo de caso aplicado em um ambiente industrial real, os dados técnicos se configuram como os recursos mais valiosos da pesquisa (YIN, 2005). Grande parte dessas informações foram obtidas com apoio da empresa integradora responsável pela execução do projeto de descentralização do CLP em um sistema transportador de correias, implementados em uma empresa de mineração (cliente final). Os dados foram extraídos de planilhas de projeto, registros operacionais, documentação técnica e por meio de reuniões com engenheiros e técnicos da planta.

Cabe destacar que os dados fornecidos pela empresa são considerados informações sigilosas e sensíveis, não sendo autorizada sua divulgação ou reprodução integral neste trabalho. Por esse motivo, os detalhes técnicos mais específicos foram preservados, e representações fictícias foram desenvolvidas para fins de ilustração e análise comparativa, sem comprometer a integridade ou confidencialidade do projeto real.

Para o tratamento e organização dos dados, utilizaram-se os seguintes recursos computacionais:

- Microsoft Excel (MICROSOFT, 2019): organização de informações quantitativas apontadas através do levantamento de campo, como número de dispositivos, pontos de I/O, estimativa de tempo de instalação e quantidade de cabeamento;
- Microsoft Teams (MICROSOFT, 2024): contato com os profissionais responsáveis pelo projeto, para levantamento e validação das informações;
- AutoCAD (AUTODESK, 2024): desenvolvimento de plantas representativas (fictícias) das arquiteturas de automação, modelo original (centralizado) e modelo revitalizado (descentralizado com remotas de campo).

#### 3.1 Etapas Realizadas no Projeto de Descentralização

A execução do projeto de descentralização do CLP seguiu um conjunto estruturado de etapas, conduzidas pela equipe técnica da empresa integradora em conjunto com os engenheiros de automação da planta da mineradora.

O foco principal foi a modernização da arquitetura de controle do sistema transportador de correias, por meio da substituição do CLP centralizado por um sistema descentralizado utilizando remotas de campo via rede Ethernet/IP. A seguir, estão descritas as principais fases do projeto:

- **Estudo do funcionamento da planta de transporte de minérios:** análise inicial do processo industrial, identificação dos pontos de controle e levantamento das exigências operacionais da automação;
- **Análise do levantamento de campo da automação:** identificação da topologia existente, dispositivos de entrada e saída instalados, rotas de cabeamento e mapeamento de possíveis limitações da arquitetura centralizada;
- **Pesquisas de soluções para descentralização:** investigação técnica das alternativas viáveis à arquitetura existente, considerando aspectos como compatibilidade, robustez, custo, manutenção e conformidade com normas;
- **Desenvolvimento e implementação do projeto:** elaboração da nova proposta arquitetônica baseada no uso de remotas de campo Armor Block, seguida pela implementação prática dos equipamentos, ajustes de lógica de controle e testes operacionais;
- **Entrega e handover ao cliente:** validação da solução em conjunto com a equipe da planta, treinamento dos operadores e entrega formal da documentação técnica e do sistema em operação;
- **Reuniões de pós-projeto e análise dos resultados:** avaliações finais com base no desempenho do sistema modernizado, levantamento dos ganhos técnicos e operacionais, e coleta de feedbacks para encerramento do projeto.

### 3.2 Levantamento de Alternativas e Escolha da Solução

Antes da definição das remotas de campo como solução definitiva para a descentralização do sistema, foram consideradas e avaliadas outras possibilidades tecnológicas viáveis. Entre as alternativas analisadas, destacam-se as redes wireless industriais utilizando rádio-modems compatíveis com o protocolo Modbus TCP/IP, uma abordagem que oferece redução no cabeamento e maior flexibilidade em locais com limitações físicas, embora apresente desafios relacionados à interferência e à estabilidade da comunicação.

Outra opção considerada foram os barramentos de campo amplamente utilizados na indústria, como Profibus-DP, AS-Interface e DeviceNet. Esses sistemas oferecem robustez e confiabilidade, mas exigem infraestrutura de rede específica e conhecimento aprofundado em protocolos dedicados. Também foram avaliadas arquiteturas baseadas em múltiplos CLPs remotos interligados por rede Ethernet/IP, exigindo lógica distribuída entre os controladores, e o uso de racks de expansão com *backplane* remoto, cuja aplicação é limitada pela distância física entre os componentes, e um custo bastante elevado para as empresas.

Após análise técnica, optou-se pela adoção de remotas de campo Armor Block conectadas via Ethernet/IP, por sua compatibilidade com o novo ControlLogix 5000, grau de proteção elevado, simplicidade de implementação e melhor adequação ao ambiente industrial em questão.

### 3.3 Etapas Realizadas no Estudo de Caso

Para a execução do trabalho de conclusão de curso, a metodologia adotada permitiu não apenas documentar tecnicamente o processo, mas também comparar os impactos da modernização sobre a arquitetura de automação. As etapas seguidas para construção e validação do estudo foram:

- **Análise dos resultados obtidos através do caso estudado:** interpretação dos dados técnicos e operacionais oriundos do projeto real, com base nos indicadores de desempenho e nos relatos da equipe de engenharia;
- **Reuniões entre engenheiros responsáveis:** encontros com os profissionais que participaram diretamente da revitalização, com o objetivo de compreender as motivações da proposta, os desafios encontrados e as soluções adotadas;
- **Reuniões entre operadores locais:** coleta de impressões dos usuários finais sobre os efeitos da nova arquitetura, incluindo aspectos relacionados à operação, manutenção e segurança;
- **Estudo de artigos e análises fornecidas:** levantamento de referências técnicas e científicas relacionadas à descentralização de sistemas de controle, redes industriais, NR10 e remotas de campo, bem como o estudo da documentação fornecida pela empresa, para embasar teoricamente as decisões adotadas;
- **Desenvolvimento de planta fictícia:** elaboração de dois esquemas gráficos no software AutoCAD representando as arquiteturas anterior (centralizada) e posterior (descentralizada), com objetivo de facilitar a análise comparativa e a apresentação visual do estudo;
- **Comparativo entre as duas metodologias do projeto de automação:** avaliação técnica entre os modelos, com base nos critérios definidos na metodologia, permitindo verificar os ganhos proporcionados pela solução modernizada.

### 3.4 Estrutura da Análise Comparativa

A análise comparativa entre os modelos de automação centralizado e descentralizado foi conduzida com base em critérios técnicos previamente definidos, fundamentados nas necessidades operacionais do projeto e nas informações fornecidas pelos profissionais envolvidos na sua execução. A escolha desses critérios visou não apenas identificar vantagens funcionais entre as arquiteturas, mas também estabelecer parâmetros concretos que possibilitassem uma avaliação coerente e alinhada às práticas da engenharia de automação industrial.

Entre os principais aspectos considerados na comparação, destacam-se: o volume total de cabeamento exigido por cada arquitetura, com foco na otimização de infraestrutura física e

redução de custos de instalação; a flexibilidade para futuras expansões da planta, avaliando a capacidade do sistema em incorporar novos dispositivos com o mínimo de intervenção; o tempo de resposta do sistema, especialmente relevante em processos contínuos como o transporte de minérios, nos quais a latência de comunicação pode impactar diretamente a eficiência operacional; e a facilidade de manutenção em campo, levando em conta a acessibilidade aos componentes, o tempo médio para diagnóstico de falhas e a substituição de dispositivos.

Adicionalmente, foi analisada a conformidade com os requisitos da NR10, norma que rege a segurança em instalações elétricas, considerando a adequação dos níveis de tensão nos pontos de intervenção e a redução da exposição de operadores a riscos elétricos. Aspectos como padronização da arquitetura, proteção mecânica dos módulos (grau de proteção IP) e a confiabilidade do sistema em ambientes industriais agressivos também foram incorporados à análise, especialmente por se tratar de uma planta localizada em uma mineradora, com alta presença de poeira, vibração e variações térmicas.

Cada um desses critérios foi analisado com uma abordagem qualitativa, baseada na percepção técnica da equipe envolvida e em normativas aplicáveis, e quantitativa, sempre que dados objetivos estavam disponíveis, como estimativas de tempo de instalação, número de conexões eliminadas e volume de cabeamento reduzido.

Para representar de forma clara as diferenças estruturais entre as duas soluções, foram desenvolvidas plantas fictícias no software AutoCAD, com a finalidade de ilustrar a topologia dos sistemas antes e depois da revitalização. A primeira planta representa o modelo anterior, com todos os dispositivos de campo conectados diretamente ao CLP centralizado, enquanto a segunda retrata a arquitetura modernizada com o uso de remotas de campo conectadas via rede EtherNet/IP. Essas representações visuais foram fundamentais para materializar os conceitos técnicos analisados, facilitando a interpretação dos resultados e a elaboração de um comparativo direto e ilustrativo entre os dois modelos de automação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados durante a execução do trabalho, bem como as discussões e comparações pertinentes em relação aos resultados esperados ao utilizar as remotas de campo na descentralização do CLP, de modo a destacar a contribuição deste estudo para o meio acadêmico.

### 4.1 Modelo inicial da planta com CLP Centralizado

A planta industrial analisada nesse estudo de caso está localizada no terminal portuário da empresa de mineração e dentre seus vários sistemas incorporados destaca-se o sistema transportador de correias, que é responsável pelo escoamento de minério de ferro.

A planta localizada em São Luís – MA atua como um dos principais pontos logísticos de escoamento de minério de ferro extraído na região Norte do Brasil. Conectada diretamente a uma ferrovia de longa distância, essa instalação recebe o material transportado por trem a partir da zona de extração mineral no interior do Pará. No local, o minério passa por processos de descarregamento, correia transportadora, empilhamento, eventualmente beneficiamento e posterior envio ao terminal portuário para exportação.

A Figura 9 demonstra parte dessa planta, onde se encontram alguns sistemas transportadores de correia.

Figura 9 – Planta da Empresa de Mineração



Fonte: MEDEIROS, 2022.

Originalmente, o sistema era controlado por um CLP SLC 500 - Rockwell centralizado, ao qual todos os dispositivos de campo (sensores, atuadores, motores, etc.) estavam diretamente

conectados.

O CLP SLC 500, desenvolvido pela Rockwell, é uma família de controladores lógicos programáveis que foi amplamente utilizada em sistemas de automação industrial durante a década de 1990.

Entre suas especificações básicas, destaca-se a capacidade de suportar módulos de entrada e saída digitais e analógicos, além de módulos especiais como contadores rápidos e comunicação. A unidade de controle pode ser instalada em um rack com *backplane*, onde também são acoplados os demais módulos. A CPU do SLC 500 possui memória suficiente para aplicações de pequeno e médio porte e permite programação por meio do *software* RSLogix 500 (ROCKWELL AUTOMATION, 2008).

Embora robusto e confiável, o SLC 500 utiliza uma arquitetura centralizada, na qual todos os dispositivos de campo devem ser conectados diretamente ao painel onde o CLP está instalado, o que aumenta o volume de cabeamento, dificulta manutenções e limita a escalabilidade do sistema. Por essas razões, muitos projetos vêm substituindo essa plataforma por arquiteturas mais modernas e flexíveis, como as baseadas no ControlLogix 5000 e no uso de remotas de campo via EtherNet/IP.

O modelo centralizado foi por muitos anos a arquitetura padrão da planta e com esse arranjo todos os sinais eram encaminhados diretamente aos cartões de entradas e saídas localizados no painel do CLP, instalado em uma sala de controle elétrica. A sala de controle em questão está sendo exibida na Figura 10.

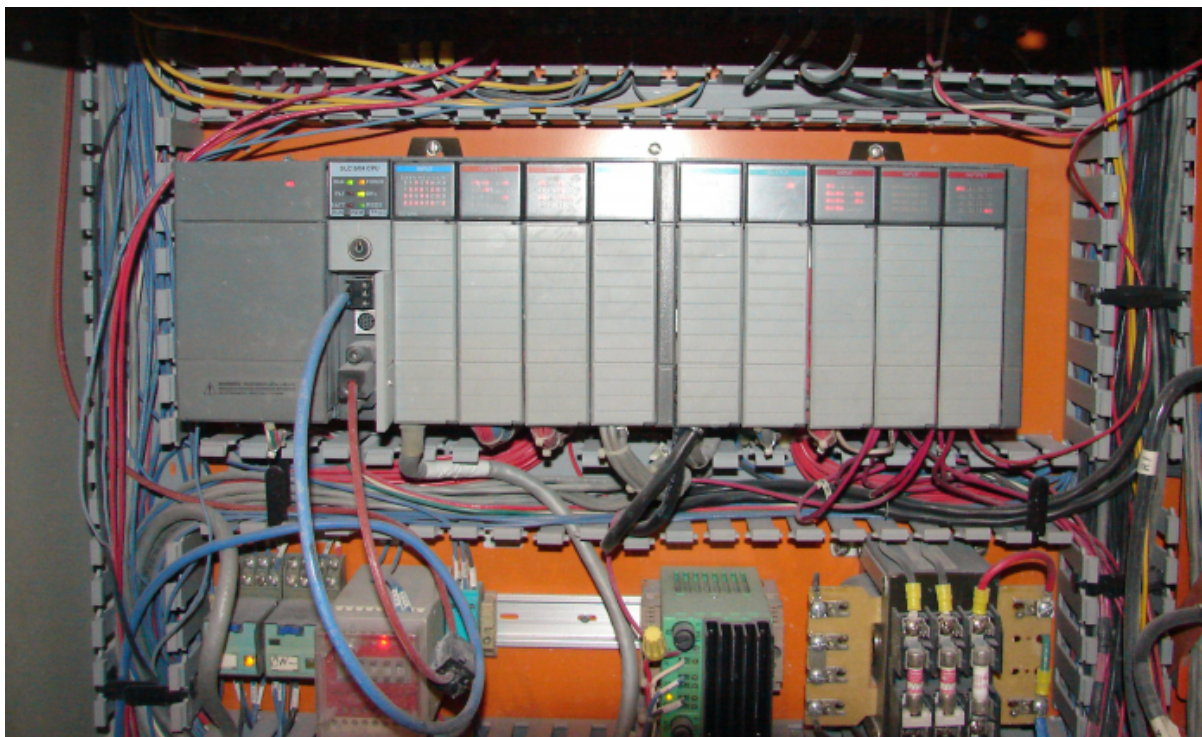
Figura 10 – Sala de Controle SE-3130KP-04



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Esse modelo, embora funcional, apresentava diversas limitações: alto volume de cabos (principalmente com o aumento da planta e conseqüentemente, dos equipamentos) percorrendo longas distâncias, aumento nos custos de instalação e manutenção, dificuldades para ampliação do sistema, maior tempo de resposta devido à distância física entre o controlador e os dispositivos de campo, etc. A Figura 11 representa como se dá um rack de automação utilizando um CLP SLC 500 centralizado. Nota-se a quantidade de cabos conectados nos cartões de entrada e saída que são referentes aos equipamentos de campo e estão sendo ligados de maneira direta.

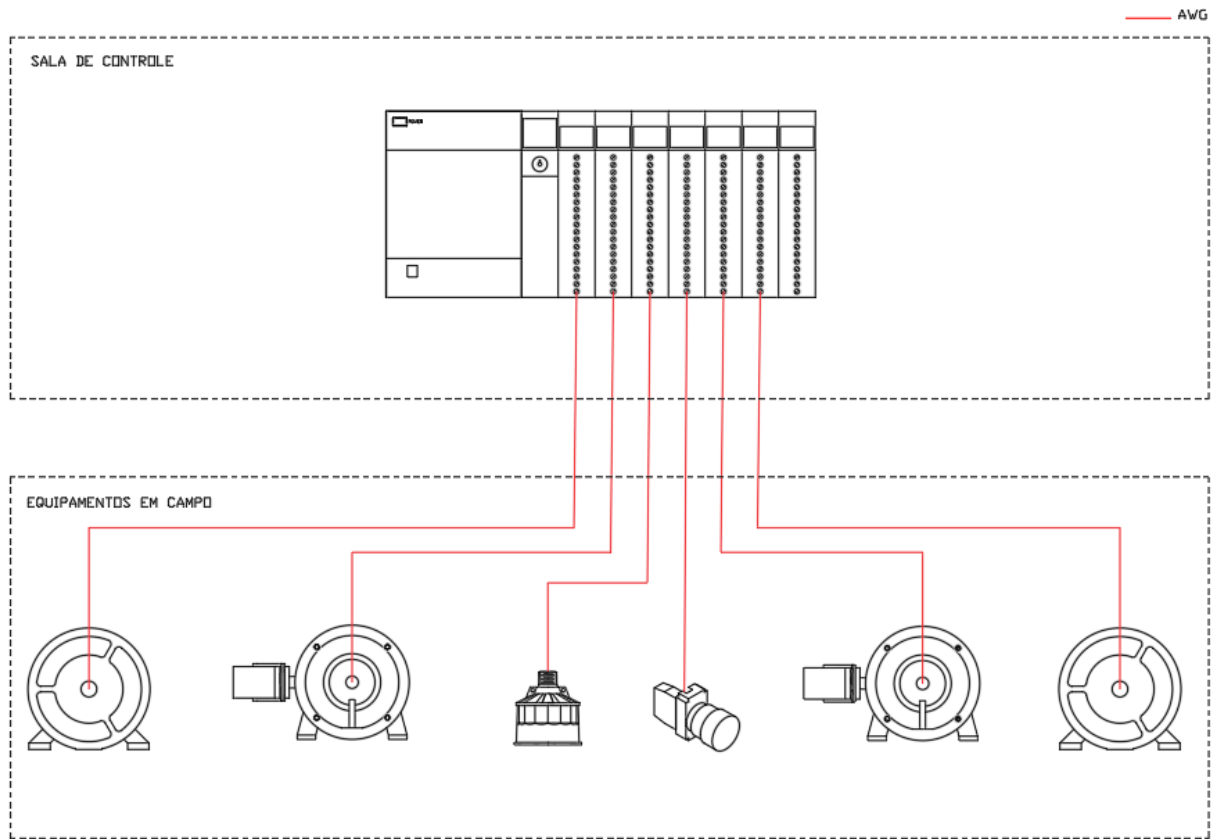
Figura 11 – Exemplo de uso do CLP SLC 500



Fonte: SYME, 2023.

A Figura 12 representa de maneira simples o modelo de controle da planta.

Figura 12 – Representação da planta com CLP Centralizado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

## 4.2 Etapas iniciais do projeto de revitalização

Diante da necessidade de modernização e melhoria da confiabilidade do sistema, foi proposto um estudo de descentralização do CLP, com a adoção das remotas de campo. As primeiras etapas do projeto envolveram:

- Levantamento técnico preliminar, sendo realizadas análises documentais e inspeções técnicas no local para compreender a arquitetura existente e mapear todos os dispositivos conectados ao CLP SLC 500;
- Estudo de viabilidade técnica e econômica elaborando comparativos entre o modelo inicial e propostas de arquitetura com uso de remotas, considerando custos de material, mão de obra, tempo de parada da planta e retorno sobre o investimento;
- Visitas técnicas à planta ao mobilizar engenheiros de automação para inspeção in loco, verificação do estado físico das instalações, coleta de dados, etc;
- Reuniões técnicas via Microsoft Teams para discussões, levantamento de ideias e definição de escopo;

- Levantamento de toda a documentação da arquitetura existente sendo apresentados os pontos de entrada e saídas, rotas de cabos, painéis de controle, etc.

### 4.3 Proposta de descentralização e novo modelo com remotas de campo

A proposta de descentralização do controle foi estruturada com a substituição do antigo modelo por uma arquitetura distribuída, utilizando remotas de campo Armor Block da Rockwell e um CLP ControlLogix 5000.

O ControlLogix 5000 é uma plataforma de controle desenvolvida pela Rockwell Automation, pertencente à linha de CLPs Allen-Bradley. Trata-se de uma solução avançada e altamente escalável, voltada para aplicações industriais de médio e grande porte que exigem alto desempenho, modularidade e flexibilidade. Ao contrário das gerações anteriores, o ControlLogix 5000 adota uma arquitetura baseada em *backplane* modular.

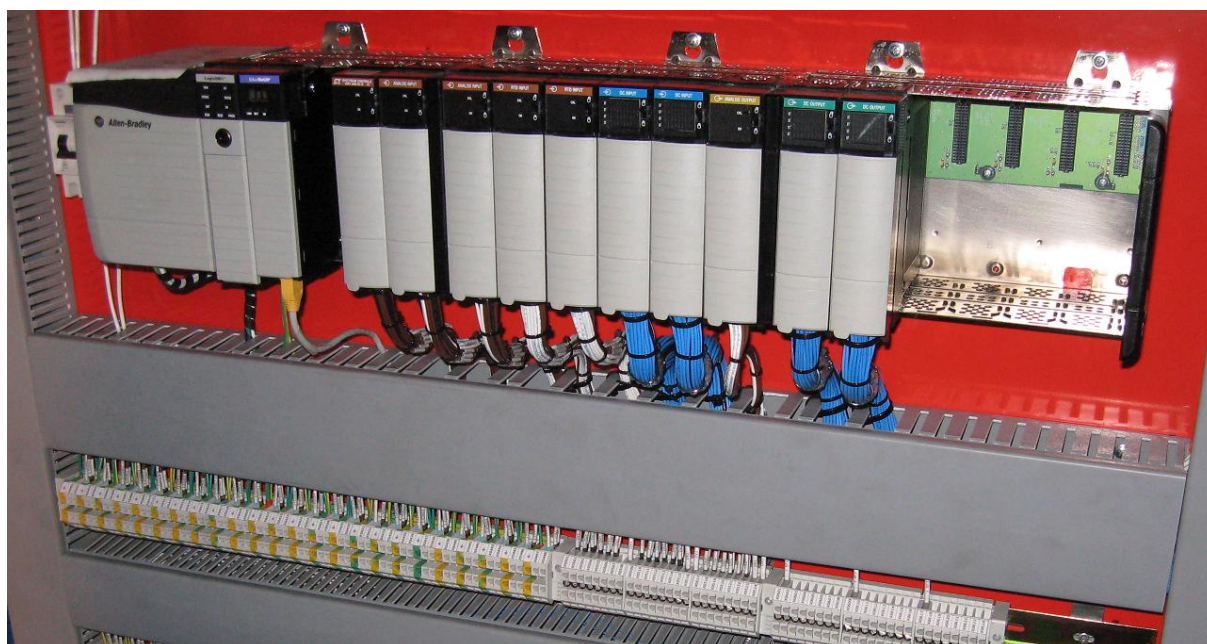
Dentre suas especificações técnicas, destacam-se: processador com alta capacidade de processamento e memória expansível, suporte a múltiplas linguagens de programação, módulos de I/O locais e remotos, e compatibilidade com redes industriais como EtherNet/IP, ControlNet e DeviceNet (ROCKWELL AUTOMATION, 2024b). Essa flexibilidade torna o ControlLogix ideal para arquiteturas descentralizadas, permitindo comunicação eficiente com remotas de campo, aumentando a confiabilidade e reduzindo custos operacionais.

As remotas de campo Armor Block são módulos de entrada e saída digitais ou analógicos desenvolvidos pela Rockwell Automation para uso em ambientes industriais severos. Elas pertencem à linha de dispositivos IP67, ou seja, são resistentes à água, poeira e vibração (ABNT, 2017), podendo ser instaladas diretamente no campo, junto aos dispositivos finais (sensores e atuadores), sem necessidade de proteção adicional ou painéis elétricos dedicados.

Esses módulos se comunicam com o controlador central via EtherNet/IP, utilizando conectores industriais padrão M12 para alimentação, rede e I/Os. As remotas Armor Block são fornecidas em diferentes configurações, como 8 ou 16 canais de entrada/saída, com modelos que oferecem alimentação integrada para sensores, filtros de debounce, e LEDs de diagnóstico em cada canal (ROCKWELL AUTOMATION, 2024a).

Essa nova configuração teve como objetivo principal eliminar o excesso de cabeamento, aumentar a modularidade e tornar a manutenção e futuras expansões mais simples e eficientes. O modelo descentralizado permite que os dispositivos de entrada e saída sejam conectados diretamente à remotas instaladas próximas aos pontos de campo, reduzindo a distância física entre os elementos do sistema, otimizando assim a topologia geral. A Figura 13 apresenta um rack com um CLP Controllogix 5000 sendo utilizado no controle do processo. Pode-se observar nessa imagem que a organização dos cabos está totalmente padronizada conforme exigido pelo item 10.3.3.1 da NR10, o qual exige que circuitos elétricos com finalidades diferentes, devem ser identificados e organizados separadamente (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978), o que difere quando comparados ao cabeamento presente na Figura 11.

Figura 13 – Exemplo de uso do CLP Controllogix 5000



Fonte: WIKIMEDIA, 2007.

Dentre os dispositivos utilizados, destacam-se as remotas Armor Block Rockwell que são instaladas em campo próximas aos equipamentos e possuem um grau de proteção elevado, eliminando a necessidade da utilização de painéis dedicados a ambientes agressivos. A Figura 14 representa fisicamente como são essas remotas Armor Block.

Figura 14 – Armor Block



Fonte: ROCKWELL AUTOMATION, 2024a.

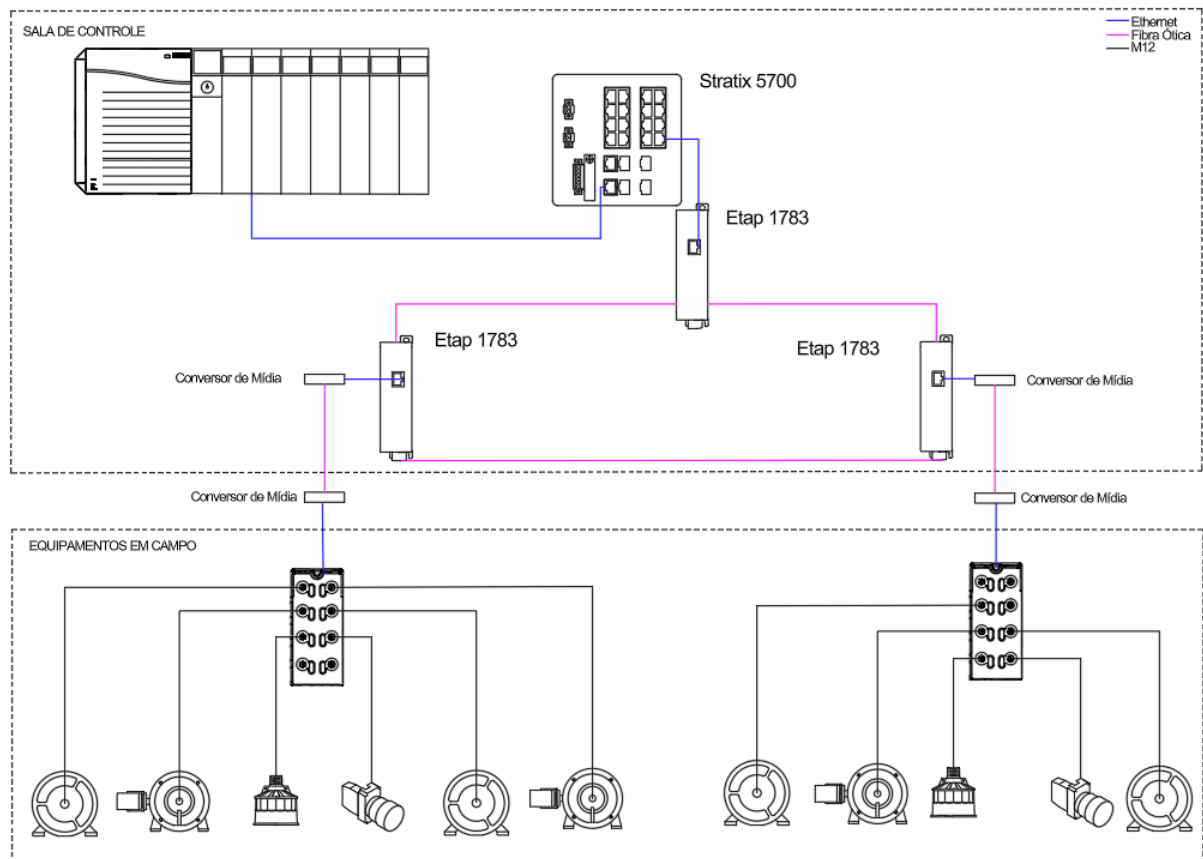
A comunicação entre o CLP e os Armor Blocks é feita através de redes industriais e a escolhida no projeto foi EtherNet/IP, essa rede é amplamente adotada devido à sua robustez e facilidade de integração com CLPs modernos conforme consta no manual de instalação (ROCKWELL AUTOMATION, 2024a). Para viabilizar a comunicação entre os pontos remotos e a sala de controle, foram utilizados conversores de mídia que transformam o sinal entre os diferentes tipos de cabeamento (como por exemplo, cobre para fibra ótica), garantindo maior imunidade a ruídos e permitindo longas distâncias, afinal, a distância entre os equipamentos de campo e as salas elétricas são consideráveis sendo necessitado a utilização de cabos de fibra ótica, como afirma Souza (2015):

"A fibra tem a capacidade de transmitir dados por distâncias muito maiores sem perda de sinal, enquanto o cobre sofre com atenuamento em longas distâncias."(SOUZA, 2015).

Por fim, foi utilizado o *switch* Stratix 5700 e ETAP 1783 para gerenciamento de rede e interconexão de segmentos. O Stratix 5700 com suporte a protocolos industriais e funções de segurança de rede, foi instalado para consolidar as conexões Ethernet/IP. Já os ETAPs 1783 possibilitaram a conexão segura e eficiente entre os dispositivos, com monitoramento integrado e maior confiabilidade.

A Figura 15 representa a arquitetura descentralizada do sistema, implementada com o uso de módulos Armor Block. Essa estrutura é similar à que foi ilustrada anteriormente na Figura 12, porém com atualizações significativas na topologia.

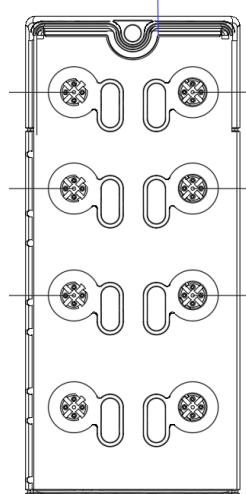
Figura 15 – Representação da planta com CLP Descentralizado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Nesta nova configuração, os módulos I/O's remotos destacados na Figura 16, são conectados diretamente em campo, próximos aos equipamentos de operação. Essas conexões são feitas por meio de conectores M12 e a representação da remota no esquemático aponta um exemplo com 8 conexões disponíveis em cada remota.

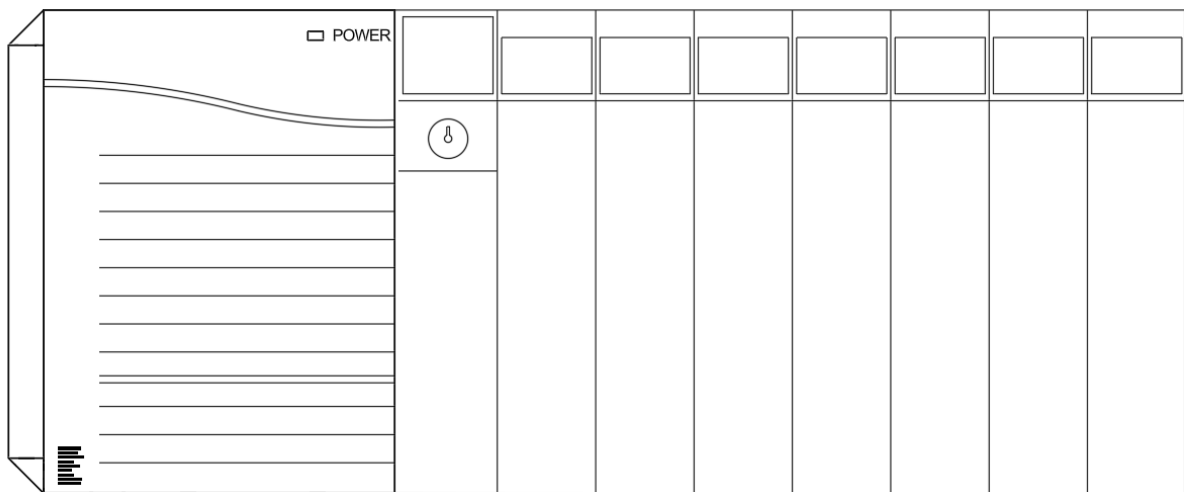
Figura 16 – Representação da Remota Armor Block



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O novo CLP, responsável pelo processamento central, encontra-se representado na Figura 17. Percebe-se que na representação, temos o rack do CLP com 7 cartões disponíveis e uma CPU integrada, possuindo um LED exibindo funcionamento ao lado da descrição *Power*.

Figura 17 – Representação do novo CLP



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

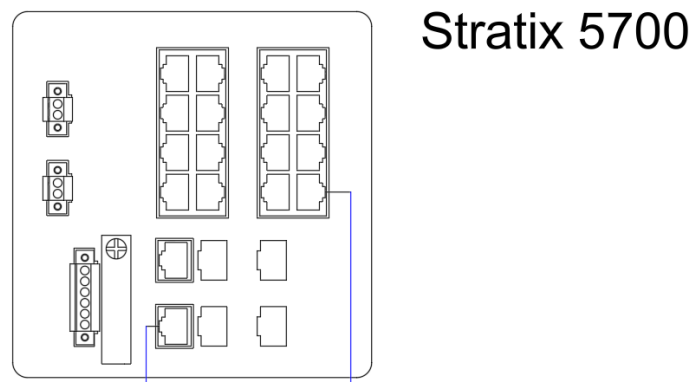
A rede industrial EtherNet/IP interliga os módulos de I/O ao controlador, garantindo comunicação robusta e padronizada. Essa rede atravessa conversores de mídia, mostrado na Figura 18, permitindo a transição entre diferentes meios físicos.

Figura 18 – Representação do Conversor de Mídia



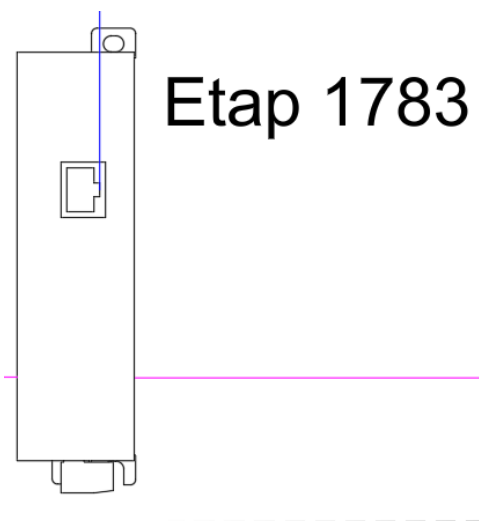
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Por fim, a comunicação com a sala de controle é realizada através de uma estrutura de rede que envolve o *switch* Stratix, com o modelo em questão possuindo 16 conexões de entrada Ethernet (parte superior) e 2 conexões de saída Ethernet (parte inferior) representado na Figura 19 e os módulos ETAPs, exibidos na Figura 20, que garantem a interface entre a rede de campo e os sistemas supervisórios ou operacionais da planta, com apenas 1 saída Ethernet.

Figura 19 – Representação do *Switch* Stratix

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 20 – Representação do ETAP



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

## 4.4 Comparativo entre os modelos Centralizado e Descentralizado

Após a implementação da nova arquitetura utilizando remotas de campo Armor Block, foi possível realizar uma análise comparativa detalhada entre o modelo anterior, com CLP centralizado (SLC 500), e o novo sistema descentralizado baseado no ControlLogix 5000. A seguir são apresentados os principais pontos de diferenciação técnica, operacional e econômica.

No que diz respeito ao volume de cabeamento, observou-se que, no modelo centralizado, todos os sinais provenientes de sensores e atuadores percorriam longas distâncias até a sala de controle, o que gerava alguns agravantes como maior tempo de instalação, maior suscetibilidade à interferências eletromagnéticas, dificuldade para identificação de falhas de campo, etc. Com a descentralização, a utilização de remotas de campo próximas aos dispositivos permitiu uma redução significativa no volume de cabeamento. Como os sinais passaram a ser coletados e enviados pelas remotas instaladas estrategicamente ao longo da planta, as conexões deixaram de depender de rotas longas até a sala de controle, sendo concentradas localmente e transmitidas via rede industrial. Isso resultou em economia de metros de cabos, redução do tempo de instalação elétrica, menor ocupação de eletrocalhas e dutos, etc. Essa mudança também contribuiu para uma menor carga de alimentação em painéis, uma vez que vários pontos de entrada e saída foram eliminados ou reduzidos.

No que concerne à possibilidade de expansão, o sistema anterior apresentava sérias limitações, exigindo alterações físicas consideráveis nos painéis e na infraestrutura elétrica para inclusão de novos dispositivos. Já na nova arquitetura, a expansão tornou-se significativamente mais simples e rápida, muitas vezes sendo necessária apenas a conexão de um novo módulo Armor Block à rede existente, como pode ser observado na Figura 12. Essa configuração contrasta com a Figura 9, em que mesmo com um número inferior de dispositivos, há maior complexidade e volume de cabeamento direcionado à sala de controle.

Em relação ao tempo de resposta e à confiabilidade do sistema, constatou-se uma melhoria substancial. De acordo com relatos de engenheiros e operadores da área, a descentralização resultou na redução da latência provocada pelas longas rotas físicas de sinal. Enquanto no modelo anterior o tempo médio de resposta variava entre 30 ms e 50 ms, na nova configuração esse valor caiu para aproximadamente 8 ms a 15 ms. Adicionalmente, o uso de *switches* industriais, como o Stratix 5700, e a otimização do tráfego de dados na rede contribuíram para uma maior estabilidade nas comunicações e aumento da confiabilidade geral do sistema.

No que tange à manutenção e ao diagnóstico, a arquitetura anterior demandava acesso físico ao painel de controle, testes manuais nos terminais e nos cartões de entrada e saída, o que tornava o processo mais lento e suscetível a erros. Com a implementação do novo modelo, passou a ser possível realizar o diagnóstico diretamente via software, utilizando o Studio 5000 e o sistema supervisor instalado, com leitura em tempo real do status dos módulos, identificação de falhas de comunicação, monitoramento de tensões de alimentação e outras condições críticas.

Essa evolução reduziu de forma expressiva o tempo de parada em manutenções corretivas e aumentou a capacidade preditiva da equipe técnica.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do presente estudo de caso, conclui-se que a utilização das remotas de campo na descentralização do CLP é um recurso tecnológico muito efetivo no objetivo de facilitar a manutenção dos equipamentos da planta, possibilitar um ambiente mais seguro para o operador e que possibilita a expansão fácil da planta, com o acréscimo apenas de remotas de campo. No entanto, percebe-se também que este artefato nem sempre é utilizado nas indústrias, e muitas vezes é substituído por outros métodos de descentralização, podendo ser ou não mais seguros ou ter um custo inferior para tal adequação.

O modelo inicial, baseado em um CLP SLC 500 com todos os equipamentos conectados diretamente, apresentava limitações significativas quanto à escalabilidade, manutenção e confiabilidade. Por meio de estudos de viabilidade, visitas à planta, reuniões técnicas e trocas entre equipes multidisciplinares, estruturou-se uma proposta robusta de descentralização, substituindo a arquitetura anterior por um sistema baseado no ControlLogix 5000, rede DeviceNet e módulos remotos Armor Block. A nova arquitetura resultou em diversos benefícios operacionais e estratégicos, entre eles estão a diminuição do volume de cabeamento e dos custos associados à manutenção elétrica, redução significativa no tempo médio de resposta do sistema, aumento da confiabilidade e redução de paradas não planejadas, melhoria no tempo de diagnóstico e na capacidade de expansão da planta, padronização da estrutura para projetos futuros, entre outros.

Em termos gerais, a descentralização mostrou-se uma evolução natural e benéfica para o cenário industrial atual, em que flexibilidade, diagnóstico rápido e redução de custos operacionais são requisitos essenciais. A experiência prática adquirida neste projeto servirá de base para futuras modernizações em outras áreas da planta e pode ser replicada em contextos semelhantes, servindo como referência técnica e estratégica.

Por fim, conclui-se que a integração entre conhecimento técnico, planejamento detalhado e envolvimento das equipes foi decisiva para o sucesso do projeto. A descentralização do controle, quando bem aplicada, representa não apenas um avanço tecnológico, mas uma mudança de paradigma na forma como se projeta, opera e mantém sistemas industriais complexos.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se um aprofundamento nos métodos de monitoramento integrando-o a sistemas remotos utilizando conceitos da indústria 4.0. A estrutura descentralizada instalada já oferece as bases para a coleta de dados em tempo real, o que possibilita a aplicação de tecnologias como análises preditiva e machine learning, com foco na antecipação de falhas e otimização da operação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61000**: Dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual para uso doméstico e similar — compatibilidade eletromagnética. Rio de Janeiro, 1995. 1-11 p.

\_\_\_\_\_. **NBR IEC 60529**: Graus de proteção providos por invólucros (códigos ip). Rio de Janeiro, 2017. 1-49 p.

AUTODESK. **AutoCad**. 2024. Mill Valley, CA: AutoDesk Inc., 2024. Suporte: Download. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/br/products/autocad>>. Acesso em: 28 maio 2024.

BOYER, S. A. **SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition**. 3. ed. Carolina do Norte: ISA - International Society of Automation, 2004.

CIMAUTOMAÇÃO. **CimAutomação**. 2022. Disponível em: <<https://blog.cimautomacao.com.br/9-etapas-de-um-projeto-de-automacao-industrial/>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

ENEREY. **Engerey Painéis Elétricos**. 2019. Disponível em: <<https://www.engerey.com.br/blog/conceito-vantagens-e-aplicacoes-das-remotas-para-automacao-automacao-remota>>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GUEDES, G. **Comunicação entre áreas remotas em um sistema de abastecimento de água**. 2016. 70 f. Dissertação (Monografia de Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://repositorio2.utfpr.edu.br/items/df024139-c154-4ddf-aa05-da89b3b57b0e>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

IEEE. **Standard for Ethernet**. New York, 2010. 1-31 p.

MÁRCIO. **Pirâmide de Automação Industrial: Entenda o que é a pirâmide de automação industrial - conceitos e elementos que compõem**. 2020. Disponível em: <<https://profes.com.br/profmarciojrunes/blog/piramide-de-automacao-industrial>>. Acesso em: 08 abr. 2024.

MARQUIERE, P. **Redes industriais Configuração da Remota Point IO 1734 Rockwell Professor Marquiere Unifei Itabira**. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=d7glFmjgaC0>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MEDEIROS, V. **Usina de pelletização da Vale em São Luís fecha parceria com a Gasmar para implantação de rede de distribuição de gás natural inédita no estado do Maranhão**. 2022. Disponível em: <<https://clickpetroleogas.com.br/usina-de-pelotizacao-da-vale-em-sao-luis-fecha-parceria-com-a-gasmar-para-implantacao-de-rede-de-distribui>>. Acesso em: 08 maio 2025.

MICROSOFT. **Microsoft Excel**. 2019. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2018. Suporte: Download. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/download-office>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

\_\_\_\_\_. **Microsoft Teams**. 2024. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2018. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-teams/download-app>>. Acesso em: 14 maio 2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília, 1978. 1-18 p.

- ROCKWELL AUTOMATION. **SLC 500 Modular Hardware Style**. Milwaukee, 2008. 1-296 p.
- \_\_\_\_\_. **POINT I/O Digital and Analog Modules and POINTBlock I/O Modules**. Milwaukee, 2013. 1-122 p.
- \_\_\_\_\_. **Módulos de E/S analógica ControlLogix**. Milwaukee, 2015. 1-294 p.
- \_\_\_\_\_. **ArmorBlock I/O Module**. Milwaukee, 2024. 1-68 p.
- \_\_\_\_\_. **ControlLogix 5570 and 5560 Controllers**. Milwaukee, 2024. 1-196 p.
- ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. 1. ed. Santa Maria, RS: e-Tec Brasil, 2016.
- SOUZA, V. A. **Comunicação por Fibra Óptica**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Cerne, 2015.
- SYME, E. **Need to Keep Your SLC 500 in Place? We've Still Got Some Modules that Can Help**. 2023. Disponível em: <<https://fr.prosoft-technology.com/insights/products-focus/The-SLC-500-is-Being-Discontinued-Are-You-Ready>>. Acesso em: 08 maio 2025.
- WIKIMEDIA. **Picture of one PLC or Program Logic Controller. The brand is Rockwell or Allen Bradley. RsLogix 5000 Family**. 2007. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:PLC\\_AB\\_InstaladoV1.JPG&action=history](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:PLC_AB_InstaladoV1.JPG&action=history)>. Acesso em: 08 maio 2025.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2005.