



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
CECAU - Colegiado do Curso de  
Engenharia de Controle e Automação



Layse Linhares Santos

***Retrofit* de controlador lógico programável em um sistema de  
captação de água para mineração**

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2023

Layse Linhares Santos

***Retrofit* de controlador lógico programável em um sistema  
de captação de água para mineração**

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Profa. Adrielle de Carvalho Santana, Dra.

Coorientador: Márcio Roberto De Souza Sales

Ouro Preto

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E  
AUTOMACAO



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Layse Linhares Santos**

**Retrofit de controlador lógico programável em um sistema de captação de água para mineração**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 23 de agosto de 2023

**Membros da banca**

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)  
Me. Regiane de Sousa e Silva Ramalho - Examinadora (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Examinadora (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/08/2023, às 16:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0577982** e o código CRC **343144CD**.

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por guiar e iluminar meu caminho até aqui. Aos meus pais, Adilson e Cleise, por serem fontes inesgotáveis de apoio e amor. À minha família por todo carinho e incentivo. Ao Thales pelo companheirismo, suporte e amor. Aos meus amigos por estarem sempre presentes. À minha orientadora, Adrielle, por todos os ensinamentos e dedicação. Aos meus colegas de trabalho, em especial Pedro, Márcio e Alan, por todo aprendizado, ajuda e direcionamento. Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para este projeto.

*A mente que se abre a uma  
nova ideia jamais voltará ao seu  
tamanho original.*

---

— Albert Einstein.

# Resumo

O beneficiamento do minério de ferro consiste em processos para aumentar o teor de ferro e garantir a qualidade do produto conforme os padrões de mercado. Essas operações são frequentemente realizadas com uso de água devido à sua disponibilidade, baixo custo e características favoráveis. Sendo assim, garantir um fornecimento confiável e adequado de água torna-se crucial para o tratamento mineral. Neste contexto, poços tubulares são comumente empregados para extrair água subterrânea e sua supervisão e controle são essenciais. A automação surge como uma ferramenta valiosa para monitorar e controlar esses poços, transformando a mineração tradicional em um processo automatizado, mais produtivo e tecnológico. Pensando nisso, este trabalho apresenta o *retrofit* de um controlador lógico programável em um sistema de captação de água de uma mineradora, com o objetivo de aumentar a produtividade e garantir a qualidade e segurança do processo. O projeto inclui o desenvolvimento da lógica de programação e a criação de uma interface visual no sistema supervisorio, além da melhoria do sistema SCADA visando eliminar problemas de lentidão causados por desligamentos do poço. Os testes bem sucedidos em bancada comprovam a conquista dos objetivos propostos, possibilitando o avanço para a fase de comissionamento e validação prática. Trabalhos futuros incluem a replicação do *retrofit* em outros poços para otimizar todo o sistema de captação de água e expandir as melhorias obtidas.

**Palavras-chaves:** Mineração. Sistema de captação de água. *Retrofit*. Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados. Controlador Lógico Programável.

# Abstract

The beneficiation of iron ore consists of processes to increase the iron content and ensure the quality of the product according to market standards. These operations are often carried out using water due to its availability, low cost, and favorable characteristics. Therefore, ensuring a reliable and adequate water supply becomes crucial for mineral treatment. In this context, tubular wells are commonly employed to extract groundwater, and their supervision and control are essential. Automation emerges as a valuable tool to monitor and control these wells, transforming traditional mining into an automated, more productive, and technological process. With this in mind, this work presents the retrofit of a programmable logic controller in a water collection system of a mining company, aiming to increase productivity and ensure process quality and safety. The project includes the development of programming logic and the creation of a visual interface in the supervisory system, as well as improvements to the SCADA system to eliminate slowdown issues caused by well shutdowns. Successful bench tests confirm the achievement of the proposed objectives, enabling progress towards the commissioning and practical validation phase. Future work includes replicating the retrofit in other wells to optimize the entire water collection system and expand the achieved improvements.

**Key-words:** Mining. Water catchment system. Retrofit. Supervisory Control And Data Acquisition. Programmable Logic Controller.

# Lista de ilustrações

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Poço tubular com bomba submersa. . . . .   | 17 |
| Figura 2 – Estrutura de um poço tubular. . . . .  | 17 |
| Figura 3 – Representação dos sistemas de controle. . . . .  | 18 |
| Figura 4 – Representação em blocos do CLP. . . . .  | 19 |
| Figura 5 – Exemplo de programação em Ladder. . . . .  | 20 |
| Figura 6 – Etapas de supervisão e controle. . . . .   | 21 |
| Figura 7 – Switches. . . . .  | 23 |
| Figura 8 – Conversor de mídia. . . . .  | 24 |
| Figura 9 – Bomba do tipo submersa. . . . .  | 27 |
| Figura 10 – Painel elétrico. . . . .  | 27 |
| Figura 11 – Inversor Danfoss. . . . .   | 28 |
| Figura 12 – Painel de automação. . . . .  | 28 |
| Figura 13 – Hidrômetro. . . . .   | 29 |
| Figura 14 – CompactLogix. . . . .   | 30 |
| Figura 15 – Interface Studio5000 Logix Designer. . . . .  | 31 |
| Figura 16 – Interface FactoryTalk View. . . . .   | 31 |
| Figura 17 – Comunicação indireta proposta. . . . .  | 32 |
| Figura 18 – Padrão de <i>tag</i> para identificação de equipamentos. . . . .  | 34 |
| Figura 19 – Padrão de <i>tag</i> para identificação de instrumentos. . . . .  | 35 |
| Figura 20 – Exemplo de <i>tag</i> . . . . .   | 35 |
| Figura 21 – <i>Tag</i> consumidor. . . . .  | 36 |
| Figura 22 – <i>Tag</i> produtor. . . . .  | 37 |
| Figura 23 – <i>Bit</i> de verificação da comunicação. A cor azul representa o CompactLo-<br>gix e a cor laranja representa o CLP intermediário. . . . . | 37 |
| Figura 24 – <i>Watchdog</i> . . . . .   | 38 |
| Figura 25 – Envio de analógicas no CompactLogix. . . . .  | 38 |
| Figura 26 – Leitura do limite de nível. . . . .   | 38 |
| Figura 27 – Bloco Danfoss no CompactLogix. . . . .  | 39 |
| Figura 28 – Modos de operação. . . . .  | 40 |
| Figura 30 – Troca de dados no CompactLogix. . . . .   | 40 |
| Figura 29 – Lógica de partida da bomba. . . . .   | 41 |
| Figura 31 – Bloco Danfoss no CLP Intermediário. . . . .   | 42 |
| Figura 32 – Troca de dados no CLP Intermediário. . . . .  | 42 |
| Figura 33 – Totalização da vazão. . . . .   | 43 |
| Figura 34 – Bloco para tratamento de analógicas. . . . .  | 43 |
| Figura 35 – Janela de comando. . . . .  | 45 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 36 – Tela no sistema supervisório. . . . .  | 46 |
| Figura 37 – Janela de comando da bomba. . . . .  | 46 |
| Figura 38 – Equipamentos utilizados no teste. . . . .  | 47 |
| Figura 39 – Janela de defeitos. Quando em vermelho, o defeito está ativo. . . . .                | 48 |
| Figura 40 – Janela de intertravamentos. Quando em laranja, o intertravamento está ativo. . . . . | 48 |
| Figura 41 – Representação do poço e suas medições. . . . .                                       | 49 |
| Figura 42 – Janela analógica de vazão com valores simulados. . . . .                             | 49 |
| Figura 43 – Janela analógica de nível com valores simulados. . . . .                             | 49 |
| Figura 44 – Janela analógica de corrente com valores simulados. . . . .                          | 50 |
| Figura 45 – Painel de automação com o CompactLogix. . . . .                                      | 50 |

# Lista de tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Modos de operação e resposta ao comando liga. . . . . | 32 |
| Tabela 2 – Tipos de dados. . . . .                               | 35 |

# Lista de abreviaturas e siglas

|             |  |
|-------------|--|
| CLP         | Controlador Lógico Programável                         |
| IHM         | Interface Homem Máquina                                |
| SCADA       | Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados            |
| E/S         | Entrada/Saída  |
| Ethernet/IP | Ethernet Industrial Protocol                           |
| CIP         | Common Industrial Protocol                             |
| CSMA/CD     | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection |
| CA          | Corrente Alternada                                     |
| CPU         | Unidade Central de Processamento                       |
| IP          | Internet Protocol                                      |

# Sumário

|            |                                       |           |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                     | <b>13</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Objetivos</b>                      | <b>14</b> |
| 1.1.1      | Geral                                 | 14        |
| 1.1.2      | Objetivos Específicos                 | 14        |
| <b>1.2</b> | <b>Justificativa</b>                  | <b>14</b> |
| <b>1.3</b> | <b>Organização e estrutura</b>        | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>          | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Automação na mineração</b>         | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Poços tubulares</b>                | <b>16</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Sistema de controle</b>            | <b>17</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Controlador Lógico Programável</b> | <b>18</b> |
| 2.4.1      | Linguagem Ladder                      | 19        |
| 2.4.2      | Comunicação via produtor/consumidor   | 20        |
| <b>2.5</b> | <b>SCADA</b>                          | <b>20</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Acionamento de motores</b>         | <b>21</b> |
| 2.6.1      | Partida direta                        | 21        |
| 2.6.2      | Partida suave                         | 21        |
| 2.6.3      | Inversor de frequência                | 22        |
| <b>2.7</b> | <b>Rede</b>                           | <b>22</b> |
| 2.7.1      | Ethernet/IP                           | 22        |
| 2.7.2      | Switch                                | 23        |
| 2.7.3      | Fibra óptica                          | 23        |
| 2.7.4      | Conversor de mídia                    | 24        |
| <b>2.8</b> | <b>Trabalhos relacionados</b>         | <b>24</b> |
| <b>3</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO</b>                | <b>26</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Metodologia</b>                    | <b>26</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Materiais</b>                      | <b>26</b> |
| 3.2.1      | Sistema de captação de água           | 26        |
| 3.2.2      | Sensor de nível                       | 28        |
| 3.2.3      | Hidrômetro com pulso digital          | 29        |
| 3.2.4      | Inversor VLT Aqua Drive               | 29        |
| 3.2.5      | CompactLogix                          | 30        |
| 3.2.6      | Studio5000 Logix Designer             | 30        |
| 3.2.7      | FactoryTalk View                      | 30        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>3.3</b> | <b>Lógica de programação</b>                   | <b>31</b> |
| 3.3.1      | Definições gerais                              | 32        |
| 3.3.1.1    | Modos de operação                              | 32        |
| 3.3.1.2    | Comandos                                       | 33        |
| 3.3.1.3    | Estados  | 33        |
| 3.3.1.4    | Defeitos                                       | 33        |
| 3.3.1.5    | Intertravamentos                               | 34        |
| 3.3.1.6    | Analógicas                                     | 34        |
| 3.3.1.7    | Padronização de <i>tags</i>                    | 34        |
| 3.3.1.8    | Tipos de dados                                 | 35        |
| <b>3.4</b> | <b>Rotina de comunicação</b>                   | <b>36</b> |
| 3.4.1      | Comunicação via Produtor-Consumidor            | 36        |
| 3.4.2      | CompactLogix                                   | 37        |
| 3.4.3      | CLP Intermediário                              | 39        |
| <b>3.5</b> | <b>Rotina da bomba</b>                         | <b>39</b> |
| 3.5.1      | CompactLogix                                   | 39        |
| 3.5.2      | CLP Intermediário                              | 41        |
| <b>3.6</b> | <b>Rotina de analógicas</b>                    | <b>42</b> |
| 3.6.1      | CompactLogix                                   | 42        |
| 3.6.1.1    | Vazão  | 42        |
| 3.6.1.2    | Nível  | 43        |
| 3.6.2      | CLP Intermediário                              | 44        |
| 3.6.2.1    | Vazão  | 44        |
| 3.6.2.2    | Nível  | 44        |
| 3.6.2.3    | Corrente                                       | 44        |
| <b>3.7</b> | <b>Desenvolvimento do sistema supervisório</b> | <b>44</b> |
| 3.7.1      | Tela   | 44        |
| 3.7.2      | Janela de comando                              | 44        |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS</b>                              | <b>46</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO</b>                               | <b>52</b> |
|            | <b>Referências</b>                             | <b>53</b> |

# 1 Introdução

O beneficiamento do minério de ferro envolve uma série de processos que têm como objetivo alterar as características físicas e químicas do minério, de modo a aumentar o teor de ferro no material e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do produto para atender aos padrões do mercado (LUZ; LINS, 2018).

Para isso, inicialmente o minério é submetido a operações de redução de tamanho, como britagem e moagem. Em seguida, há uma fase de separação e classificação por tamanho, utilizando técnicas como peneiramento e cicloneamento. Por fim, ocorre a separação do material, resultando em um concentrado e um rejeito (LUZ; LINS, 2018).

Segundo Luz, Sampaio e França (2010), é comum que essas operações sejam realizadas a úmido, onde a água desempenha um papel crucial, servindo principalmente como meio de transporte. Esse uso intensivo da água é justificado devido a sua elevada disponibilidade e o baixo custo de captação, além das suas características químicas e físicas.

Sendo assim, a disponibilidade de água é um dos requisitos básicos para o processamento mineral e pode determinar a localização da usina de beneficiamento de minério. Além disso, garantir um abastecimento confiável e adequado de água, bem como o seu estoque e transporte, torna-se imprescindível para o sucesso do tratamento mineral (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Uma das formas mais comuns de se obter água na mineração é por meio de poços tubulares que captam a água subterrânea. O monitoramento e o controle desses poços é fundamental e envolve os aspectos hidráulicos, a qualidade da água e o desempenho operacional dos equipamentos de bombeamento (ABUD et al., 2014).

Pensando nisso, a automação é uma grande aliada para o controle e monitoramento dos poços, permitindo a transformação da mineração tradicional em um processo automatizado, mais produtivo e controlado por meio da tecnologia (LOPES, 2020). Para isso, muitas vezes realiza-se o *retrofit*, ou seja, a modernização dos equipamentos utilizados que já estão obsoletos.

Neste trabalho, é apresentado o *retrofit* do sistema de automação do poço tubular de uma mineradora situada em Minas Gerais. O *retrofit* consiste na substituição do antigo CLP do modelo Micro820 por um CompactLogix, sendo que ambos são da marca Rockwell Automation. Além disso, o *retrofit* também foi realizado no sistema supervisório, visto que antes ele não se adequava as normas.

Portanto, o objetivo do trabalho é tornar o processo de captação de água mais

eficiente e seguro, por meio do aumento da produtividade, do monitoramento dos dados do poço e da garantia de qualidade e segurança do processo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Geral

O trabalho tem como objetivo a substituição do controlador lógico programável utilizado em um poço tubular, bem como o desenvolvimento de seu sistema de supervisão, buscando um melhor desempenho e segurança no processo de captação de água.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento da lógica de programação em Ladder;
- Desenvolvimento de tela no sistema supervisorio;
- Monitoramento de dados do poço;
- Melhora no funcionamento do SCADA e eliminação das ocorrências de lentidão.

## 1.2 Justificativa

O trabalho teve início com uma manutenção corretiva, visto que o controlador do poço havia queimado e, por isso, precisava ser substituído. No entanto, foi identificada uma oportunidade de melhoria com a substituição por um controlador mais atualizado.

Além disso, a lentidão no sistema supervisorio causada pela perda de comunicação entre esse e o poço também foi um fator impulsionador. Como essa situação era indesejável para o acompanhamento do processo, foi criada uma comunicação indireta entre esses dispositivos, utilizando um segundo CLP intermediário, com o objetivo de evitar o problema. Neste caso, o CLP intermediário é do modelo ControlLogix, fabricado pela Rockwell Automation.

Portanto, a troca do controlador e a nova forma de comunicação buscaram aumentar a produtividade e a confiabilidade do processo, elevar a qualidade das operações e garantir a segurança em todas as etapas.

## 1.3 Organização e estrutura

A estrutura do trabalho compreende cinco capítulos. No primeiro, são apresentados a introdução do projeto, suas justificativas e objetivos. No segundo capítulo, é abordada a

revisão bibliográfica, na qual são explorados os temas e estudos que contribuíram para a elaboração do projeto. O terceiro capítulo é dedicado ao desenvolvimento do trabalho e suas etapas. Por fim, os resultados e a conclusão do trabalho são apresentados nos capítulos quatro e cinco, respectivamente.



## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Automação na mineração

Atualmente, a mineração não é mais caracterizada apenas por empresas tradicionais e processos antiquados. De acordo com Lage (2021), a busca por maior eficiência, segurança e economia de custos tem impulsionado o uso crescente de tecnologias na indústria mineradora, resultando em uma abordagem mais inovadora e competitiva no mercado.

A adoção da automação industrial tem desempenhado um papel fundamental nessa transformação, proporcionando um melhor desempenho operacional, ao mesmo tempo em que reduz os custos. Essa evolução é conhecida como “mineração 4.0”, um termo que deriva da combinação entre mineração e indústria 4.0, representando uma nova produção que incorpora tecnologias avançadas (LOPES, 2020).

O novo modelo de mineração tem como tendência a integração cada vez maior de processos dentro de uma mina, além de um forte compromisso com a sustentabilidade. Para isso, são utilizadas ferramentas que promovem a eficiência energética e a redução de emissões de materiais nocivos ao meio ambiente.

### 2.2 Poços tubulares

Os poços tubulares são estruturas projetadas para extrair água subterrânea de um ou mais aquíferos, utilizando bombas para retirá-la (COSTA FILHO et al., 1998). A figura 1 ilustra um exemplo de bombeamento submerso.

Os poços são construídos por meio de perfuração do terreno e são revestidos com tubos que garantem a estabilidade do furo, a entrada de água e o funcionamento das bombas (figura 2). Além disso, a instalação de um poço envolve a criação de uma estação reservatória de água e um sistema de distribuição.

Geralmente, os parâmetros hidráulicos monitorados incluem o nível da água no poço, a vazão e o tempo de funcionamento da bomba. O acompanhamento dos equipamentos de bombeamento fornece dados para o controle operacional, permitindo avaliar o rendimento eletromecânico, a disponibilidade dos poços e possibilitando a antecipação de necessidades de reparo e manutenção (ABUD et al., 2014).

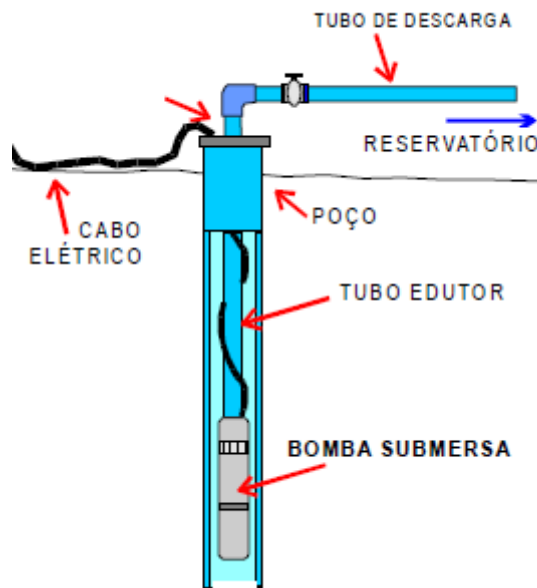


Figura 1 – Poço tubular com bomba submersa.

Fonte: COSTA FILHO et al. (1998).

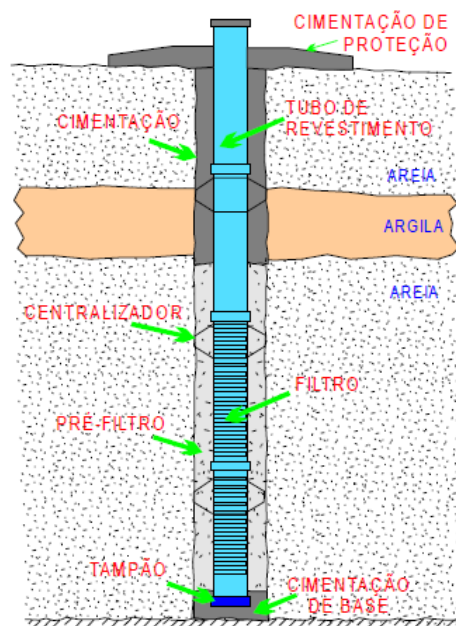


Figura 2 – Estrutura de um poço tubular.

Fonte: COSTA FILHO et al. (1998).

## 2.3 Sistema de controle

Um sistema de controle é um conjunto de dispositivos e instrumentos utilizados para gerenciar e regular um processo. Como ilustra a figura 3, ele é composto por três

elementos principais: elementos primários de medição, controladores e elementos finais de controle (FERRARI et al., 2021).

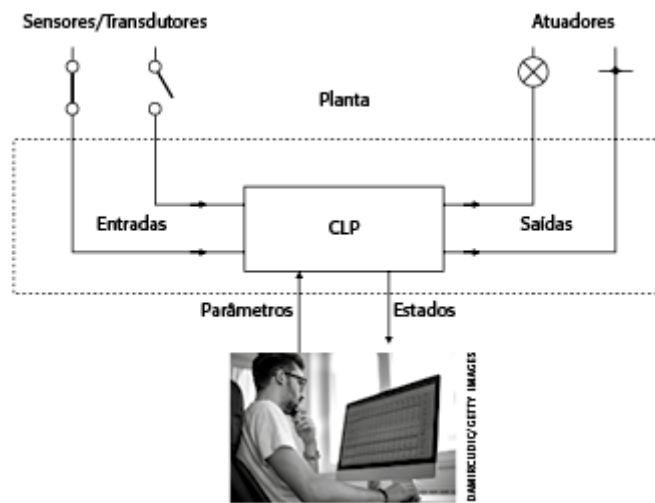


Figura 3 – Representação dos sistemas de controle.

Fonte: Franch e Camargo (2021).

Os elementos primários são responsáveis por medir as variáveis do processo. Eles consistem em dispositivos como sensores, que detectam as variáveis físicas, e transdutores, que convertem e transmitem as medidas realizadas.

Os controladores, por sua vez, monitoram os valores obtidos pelas medições e os comparam com os valores desejados para as variáveis de processo. Seu objetivo é manter a operação dentro dos limites especificados, ativando os atuadores necessários.

Por fim, os elementos finais de controle, também conhecidos como atuadores, têm a função de realizar a ação de controle para garantir que a variável permaneça no valor definido. Exemplos destes equipamentos incluem válvulas de controle, motores e bombas.

## 2.4 Controlador Lógico Programável

De acordo com Franch e Camargo (2021), o Controlador Lógico Programável pode ser definido como:

(...) Um sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em ambiente industrial, que utiliza uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, a partir de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos.(...)

Sendo assim, o controlador lógico programável é basicamente composto por uma fonte de alimentação, um dispositivo com entradas e saídas (analógicas e/ou digitais),

Unidade Central de Processamento (CPU) e unidade de comunicação. A estrutura de um CLP é demonstrada na figura 4.

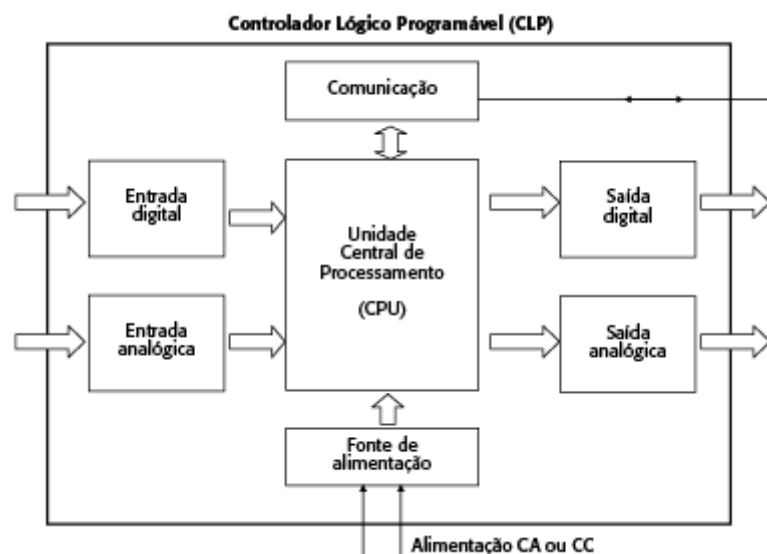


Figura 4 – Representação em blocos do CLP.

Fonte: Franch e Camargo (2021).

Atualmente, os CLPs dominam o cenário de automação na indústria, sendo amplamente adotados devido a uma série de benefícios que oferecem. Entre essas vantagens, destacam-se a significativa redução de fiação e custos associados aos circuitos de controle convencionais com relés, bem como a facilidade de programação e instalação (PETRUZELLA, 2014). Além disso, eles oferecem compatibilidade de rede, verificação de defeitos e facilidade de teste, garantindo alta confiabilidade operacional. Sua robustez física também é notável, tornando-os resistentes a fatores do ambiente industrial, como vibração, impacto e poeira.

### 2.4.1 Linguagem Ladder

Apesar de ter sido a primeira linguagem desenvolvida para a programação de CLPs, a linguagem Ladder continua sendo a mais difundida na indústria. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que ela foi desenvolvida com base nos mesmos princípios dos diagramas de comandos elétricos que utilizam bobinas e contatos (FRANCH; CAMARGO, 2021), como mostra a figura 5. Dessa forma, ela permite que o raciocínio lógico aplicado na elaboração de comandos utilizando relés seja aproveitado de maneira direta e intuitiva.

Além disso, a fácil visualização dos estados das variáveis no diagrama em Ladder possibilita uma rápida depuração e manutenção do *software*. Outro benefício é a clareza e simplicidade da documentação gerada, facilitando o entendimento do programa. Por fim, o uso de símbolos padronizados e amplamente aceitos pelos fabricantes e usuários contribui

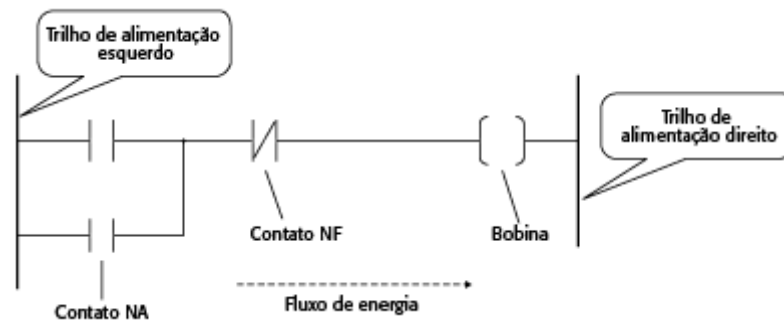


Figura 5 – Exemplo de programação em Ladder.

Fonte: [Franch e Camargo \(2021\)](#).

para a sua consolidação como uma linguagem de programação confiável e de larga adoção na indústria.

#### 2.4.2 Comunicação via produtor/consumidor

Nos controladores da Rockwell Automation, está disponível o recurso de comunicação via produtor/consumidor, o qual possibilita que um CLP possa produzir (transmitir) ou consumir (receber) *tags* compartilhadas no sistema ([ROCKWELL, 2018](#)). Na programação em Ladder, um *tag* é o nome utilizado para representar uma variável ou um dispositivo do processo.

Para que a comunicação aconteça, é necessário que o tipo de dado da *tag* consumida corresponda ao tipo de dado da *tag* produzida. Além disso, os CLPs devem estar conectados à mesma rede de controle, como uma rede ControlNet ou Ethernet/IP.

É importante ressaltar que cada *tag* produzida e consumida requer conexões específicas. Sendo assim, conforme o número de controladores que consomem uma *tag* aumenta, o número de conexões disponíveis para outras operações, como comunicação e E/S, diminui, podendo afetar o desempenho geral do sistema.

## 2.5 SCADA

Segundo [Rodrigues \(2016\)](#), o Sistema de Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA) é uma tecnologia usada para o gerenciamento e controle de ambientes industriais que realizam processos com grandes distâncias. Sua função principal é monitorar e controlar os dados da produção de forma eficiente.

A coleta das informações é feita inicialmente por meio de equipamentos de aquisição de dados, seguida de manipulação e análise dos mesmos. Posteriormente, as informações são apresentadas ao usuário por meio de telas animadas, que fornecem indicações instantâneas das variáveis de processo. A figura 6 representa essas etapas.

Por meio de uma interface objetiva entre o operador e a área, o sistema supervisor possibilita o controle e a intervenção remota no processo, praticamente em tempo real. Com isso, o SCADA desempenha um papel fundamental para aumentar a segurança e a agilidade na operação.

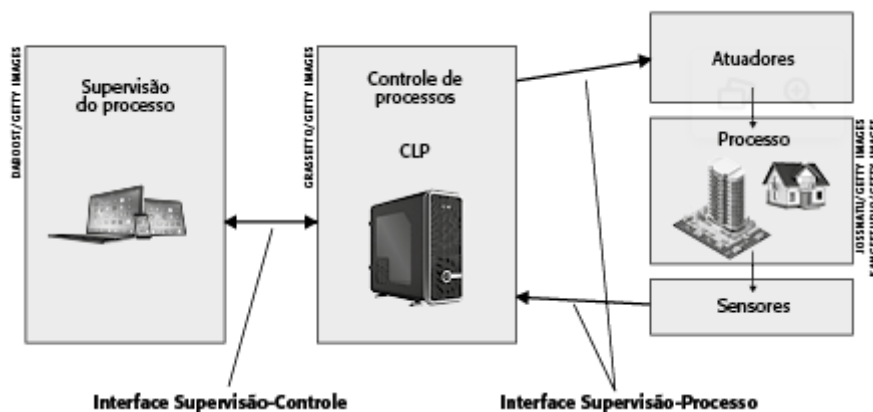


Figura 6 – Etapas de supervisão e controle.

Fonte: Franch e Camargo (2021).

## 2.6 Acionamento de motores

### 2.6.1 Partida direta

Conforme Franchi (2018), a partida direta é a forma mais simples de acionar um motor elétrico, na qual as três fases são conectadas diretamente ao motor, gerando um pico de corrente durante o processo de partida.

Entre os benefícios de utilizar uma chave de partida direta estão a simplicidade e facilidade de construção e projeto dos equipamentos, além de proporcionar um rápido acionamento, tudo isso a um baixo custo.

Em contrapartida, uma das principais desvantagens é a acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede, o que pode ocasionar interferências em outros equipamentos. Além disso, os dispositivos e cabos precisam ser superdimensionados para lidar com o pico de corrente, o que acaba aumentando os custos do sistema.

### 2.6.2 Partida suave

As chaves de partida suave, conhecidas também como *soft-starters*, são dispositivos utilizados para controlar os motores, garantindo uma aceleração e desaceleração gradual (FRANCHI, 2014).

O funcionamento desse dispositivo se dá por meio do aumento progressivo da tensão fornecida ao motor durante a partida, evitando impactos e reduzindo o pico de corrente no processo de acionamento.

### 2.6.3 Inversor de frequência

O método mais eficiente para controlar a velocidade de motores CA envolve a variação da frequência da fonte de alimentação por meio de conversores de frequência, permitindo um ajuste constante da velocidade (FRANCHI, 2018). Esse controle possibilita uma partida suave, reduzindo o pico de corrente e garantindo uma precisão na velocidade durante o funcionamento.

Existem dois tipos de inversores: escalares e vetoriais. Os inversores escalares são utilizados para controle da velocidade do motor, enquanto os inversores vetoriais oferecem respostas rápidas e alta precisão para o controle de velocidade e torque. Atualmente, a maioria dos inversores utilizados na indústria é do tipo escalar.

## 2.7 Rede

### 2.7.1 Ethernet/IP

O Padrão Ethernet, desenvolvido na década de 70, é atualmente o protocolo mais amplamente aceito para a comunicação de dados. Seu funcionamento é baseado no CSMA/CD, protocolo de controle de acesso ao meio, no qual há basicamente o envio de dados e a detecção de colisão dos pacotes enviados (VENTURELLI, 2021).

Para isso, o dispositivo primeiro verifica a disponibilidade do canal de comunicação. Se o canal estiver livre, inicia-se a transmissão dos dados. No entanto, se ocorrer uma colisão, o dispositivo interrompe o envio de dados e emite um sinal indicando a ocorrência da colisão. Em caso de sucesso na transmissão, o dispositivo finaliza o processo e envia um sinal para confirmar que a transmissão foi concluída com êxito.

O protocolo Ethernet estabelece as características técnicas dos padrões de rede, incluindo o meio físico de conexão, o controle de acesso aos dados e o formato das informações. Segundo Venturelli (2021), suas principais vantagens são a facilidade de projetar e implantar as redes, o baixo custo dos componentes e sua ampla aplicação em diversos cenários.

Devido aos seus benefícios, a indústria despertou interesse na Ethernet, levando ao desenvolvimento do Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol). Esse protocolo é baseado na Ethernet padrão, aproveitando *hardware* e *software* já estabelecidos para definir um protocolo que possibilita a configuração, acesso e controle de dispositivos de automação industrial (COUTO, 2010).

O protocolo Ethernet/IP utiliza o CIP (Common Industrial Protocol), especialmente projetado para atender às necessidades específicas da automação industrial. Ele oferece características importantes, como controle, segurança, sincronização e gerenciamento da rede, utilizando um modelo de comunicação produtor-consumidor e sendo orientado a objetos (ODVA, 2023).

### 2.7.2 Switch

Na indústria, a espera para o envio de pacotes de dados pode representar um problema significativo, especialmente quando se trata de informações críticas, como alarmes, defeitos ou situações de emergência. Atrasos nessas comunicações podem gerar condições inseguras e, por isso, devem ser evitados ao máximo.

Uma solução para enfrentar esse problema é a adoção do *switch*. O *switch* é um equipamento projetado para conectar vários dispositivos em uma rede local. Sua função é direcionar o tráfego de dados entre os dispositivos, de modo que a transmissão seja simultânea e sem colisões. Isso é possível graças às múltiplas portas independentes que ele possui, como mostra a figura 7, garantindo uma comunicação eficiente e segura (CALEGARI, 2017).



Figura 7 – Switches.

Fonte: Rockwell (2023)<sup>1</sup>

### 2.7.3 Fibra óptica

As fibras ópticas consistem em filamentos flexíveis feitos de materiais como vidro ou plástico e têm sido amplamente empregadas para a transmissão de dados, permitindo transferir informações em velocidades próximas à da luz.

Dentre as suas vantagens destacam-se: transmissão de dados mais rápida, ampla área de cobertura, baixa oscilação na transferência de dados, custos reduzidos tanto para

<sup>1</sup> [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qr/enet-qr001\\_-en-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qr/enet-qr001_-en-e.pdf)



instalação quanto para manutenção e a ausência de limitações quanto ao volume de dados transmitidos (INTELBRAS, 2023).

#### 2.7.4 Conversor de mídia

Demonstrados na figura 8, conversores de mídia são dispositivos de rede que realizam a transformação de sinais elétricos em ópticos e vice-versa, tornando viável a utilização de fibra óptica em substituição aos cabos de cobre para a transmissão de dados. Esses conversores são utilizados para conectar redes Ethernet, proporcionando maior confiabilidade e segurança (INTELBRAS, 2016).

Existem dois tipos de conversores: Fast Ethernet e Giga Ethernet. Os conversores Fast Ethernet operam com uma velocidade de transmissão de dados de 100 Mbps, sendo opções mais econômicas e destinadas a atender demandas menores. Em contrapartida, os conversores Giga Ethernet são capazes de alcançar velocidades de até 1000 Mbps, oferecendo uma capacidade de tráfego de dados muito maior e tornando-se ideais para projetos de maior complexidade (INTELBRAS, 2019).



Figura 8 – Conversor de mídia.

Fonte: Intelbras (2023)<sup>2</sup>

## 2.8 Trabalhos relacionados

Conforme mencionado anteriormente, o *retrofit* é uma abordagem amplamente empregada nas indústrias para tornar o processo mais tecnológico. Com o intuito de aprofundar o conhecimento no assunto e estimular novas perspectivas, uma pesquisa foi realizada para identificar trabalhos similares.

Em Filho (2019), foi realizado o *retrofit* em uma máquina de envelopamentos de comprimidos visando a melhoria operacional do equipamento, uma vez que ele apresentava falhas recorrentes. Para isso, foram feitas mudanças no *hardware* e *software*: os painéis elétricos foram atualizados e foi criada uma nova lógica de programação que permite o controle da velocidade, da temperatura e da quantidade de comprimidos. Os resulta-

<sup>2</sup> <https://www.intelbras.com/pt-br/conversor-de-midia-gigabit-ethernet-monomodo-20-km-kgs-1120>

dos obtidos foram satisfatórios, proporcionando um processo mais seguro e com menos interrupções nas operações da empresa farmacêutica.

O segundo trabalho tem uma abordagem diferente, uma vez que o *retrofit* foi motivado pela perda da programação original devido ao esgotamento da bateria que alimentava a memória interna do CLP. Portanto, o trabalho de Souza (2016), contou com a criação de uma nova lógica de programação e com as adequações necessárias em campo para que o sistema voltasse a funcionar.

Por fim, o trabalho de Leite Filho et al. (2019) trata de um *retrofit* parcial, no qual houve a troca de apenas um dispositivo do sistema com o objetivo de analisar o desempenho antes e depois da mudança. Neste caso, o *hardware* antigo foi aproveitado e apenas a CPU foi trocada. O resultado foi positivo e concluiu-se que as indústrias podem utilizar com segurança esse tipo de *retrofit* que possui como vantagens o aspecto financeiro e de redução de riscos.

## 3 Desenvolvimento

### 3.1 Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho está organizado em duas partes principais, sendo elas:

1. Elaboração da programação em Ladder: criação da lógica de acionamento da bomba utilizada, bem como a lógica para monitorar seu estado e detectar defeitos e intertravamentos. Adicionalmente, foi desenvolvida a lógica de comunicação via produtor-consumidor entre os dois CLPs utilizados, além da lógica para monitoramento das analógicas de nível, vazão e corrente;
2. Desenvolvimento da tela no sistema supervisório: representação do processo de captação da água no SCADA, permitindo o acompanhamento da operação e a visualização das variáveis envolvidas.

### 3.2 Materiais

#### 3.2.1 Sistema de captação de água

O sistema de captação de água da mina em questão é composto por um total de doze poços tubulares, dos quais apenas sete estão atualmente em operação. Cada um desses poços é equipado com um sistema de bombeamento para a captação de água, bem como um sensor de nível e um instrumento para medição da vazão.

Em relação ao poço 9, no qual será realizado o trabalho de *retrofit*, ele possui uma bomba submersa trifásica que opera a uma frequência de 60Hz. O motor é do tipo de indução com rotor gaiola de esquilo (EBARA, s.d.). A figura 9 ilustra a bomba utilizada.

Cada poço possui um painel elétrico, responsável pelo acionamento da bomba (figura 10). No caso do poço 9, ele possui um inversor de frequência (figura 11) para realizar o acionamento e o controle da velocidade da bomba.

Além disso, todos os poços possuem um painel de automação completo, contendo um CLP, um *switch* para comunicação via protocolo Ethernet/IP e conversores de mídia para a transmissão de dados por meio de Fibra Óptica. A figura 12 apresenta o painel.



Figura 9 – Bomba do tipo submersa.

Fonte: IBM Bombas (2023)<sup>1</sup>



Figura 10 – Paineleletrico.

Fonte: Autor.

<sup>1</sup> <https://ibmbombas.com.br/produto/bomba-ebara-submersa/>



Figura 11 – Inversor Danfoss.

Fonte: Autor.

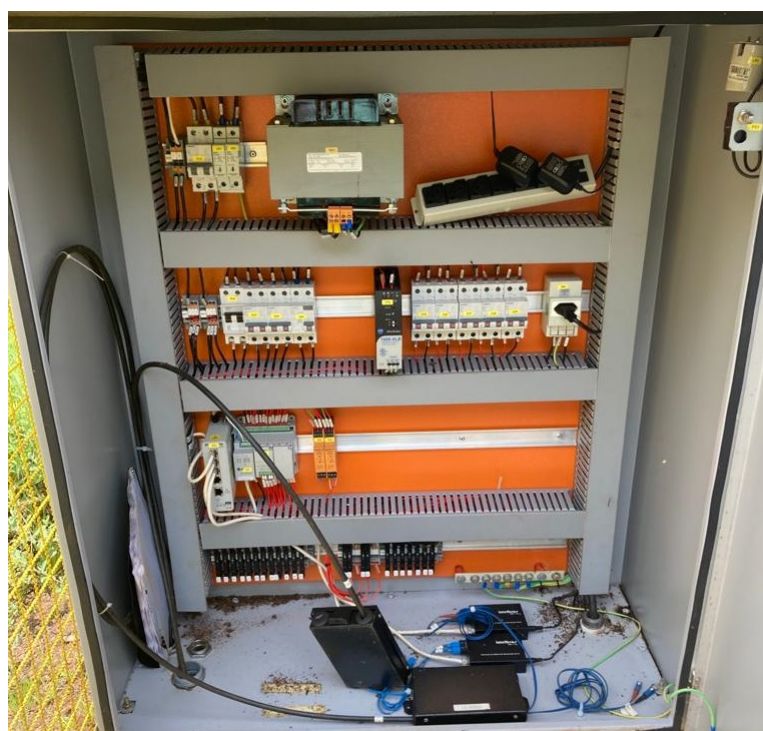


Figura 12 – Painel de automação.

Fonte: Autor.

### 3.2.2 Sensor de nível

Um sensor de nível hidrostático funciona com base no princípio da pressão hidrostática, que representa a pressão exercida por um líquido em função de sua altura

(ARTESIANOS, 2023). No caso do atual trabalho, o dispositivo entra em contato direto com a água e possui um sensor de pressão acoplado. A partir da pressão medida, é possível determinar a altura do líquido de forma precisa.

### 3.2.3 Hidrômetro com pulso digital

Um hidrômetro com saída pulsada é um tipo de medidor de água capaz de fornecer leituras de consumo em forma de pulsos elétricos proporcionais à quantidade de água que passa pelo instrumento (NETAFIM, 2016). Posteriormente, esses pulsos são enviados ao controlador, que é responsável por calcular a vazão da bomba por meio da totalização dos pulsos do hidrômetro. A figura 13 ilustra o hidrômetro utilizado no trabalho.



Figura 13 – Hidrômetro.

Fonte: Hidrometer (2023)<sup>2</sup>

### 3.2.4 Inversor VLT Aqua Drive

Ilustrado na figura 11, o Inversor Danfoss VLT® AQUA Drive FC202 é um equipamento especialmente projetado para sistemas de águas operados por motores CA (DANFOSS, 2018). Sua configuração e operação são simples e intuitivas, contando com uma IHM fácil de usar, disponível em português e com um menu personalizável.

Além disso, o inversor oferece uma variedade de recursos para otimizar o desempenho do sistema de bombeamento. Entre eles, detecção de bomba seca, confirmação de vazão, limitador de corrente e função *sleep* (*stand by* com fluxo zero ou muito baixo), são disponibilizados para evitar danos aos equipamentos (DANFOSS, 2018).

Quanto à comunicação, o inversor utiliza o protocolo Ethernet/IP, tornando-o uma excelente opção para ambientes industriais que realizam a captação de água para o processo.

<sup>2</sup> [https://www.hidrometer.com.br/\\_files/ugd/094ede\\_0c7e6f367ac642179d967234347e9756.pdf](https://www.hidrometer.com.br/_files/ugd/094ede_0c7e6f367ac642179d967234347e9756.pdf)

### 3.2.5 CompactLogix

Fabricado pela Rockwell Automation, o controlador CompactLogix é especialmente projetado para aplicações de pequeno porte (ROCKWELL, 2023b). Em relação à comunicação, o controlador possui duas portas Ethernet e suporta o protocolo Ethernet/IP. No que se trata de E/S, o equipamento conta com 16 entradas digitais, 16 saídas digitais, 4 entradas analógicas e 2 saídas analógicas (ROCKWELL, 2023a). A figura 14 apresenta o CLP utilizado.

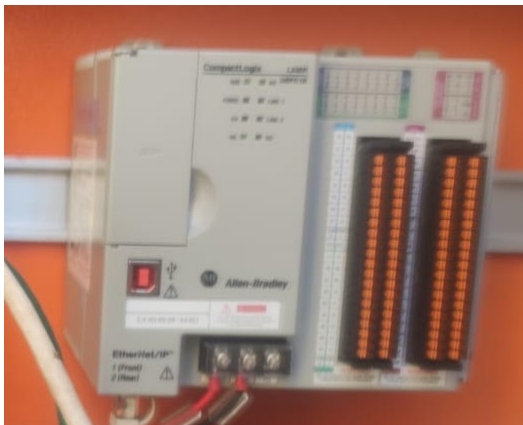


Figura 14 – CompactLogix.

Fonte: Autor.

### 3.2.6 Studio5000 Logix Designer

O Studio5000 Logix Designer é um *software* desenvolvido pela Rockwell Automation para programação de lógicas de controle de processos e configuração de equipamentos industriais (ELETRONOR, 2018). A ferramenta foi elaborada para os controladores da família Logix e apresenta a interface ilustrada na figura 15.

Em sua abordagem de programação, as variáveis e estruturas de dados são definidas como *tags*, o que torna o processo de programação mais organizado e estruturado. Além disso, o *software* suporta várias linguagens de programação, com a Ladder sendo a mais utilizada entre elas.

### 3.2.7 FactoryTalk View

O FactoryTalk View é uma parte integrante do sistema FactoryTalk da Rockwell Automation e foi projetado para criar e gerenciar interfaces gráficas e sistemas de supervisão (ROCKWELL, 2023c). Com ele, os usuários podem monitorar o desempenho das máquinas, visualizar processos em tempo real e controlar sistemas industriais.

O *software* oferece uma ampla variedade de funcionalidades para a criação de telas personalizadas, permitindo a apresentação de informações relevantes aos operadores e



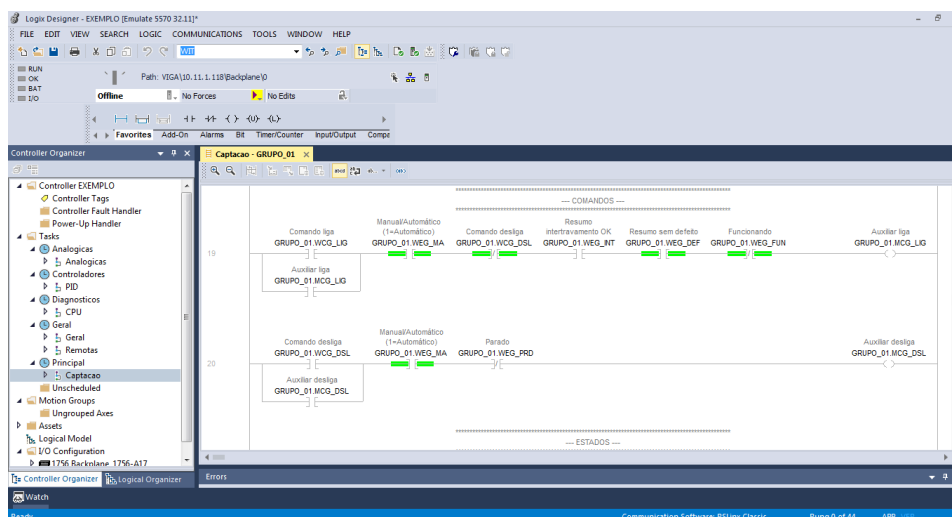


Figura 15 – Interface Studio5000 Logix Designer.

Fonte: Autor.

tornando mais fácil a operação de sistemas complexos. O ambiente de criação de telas está demonstrado na figura 16.

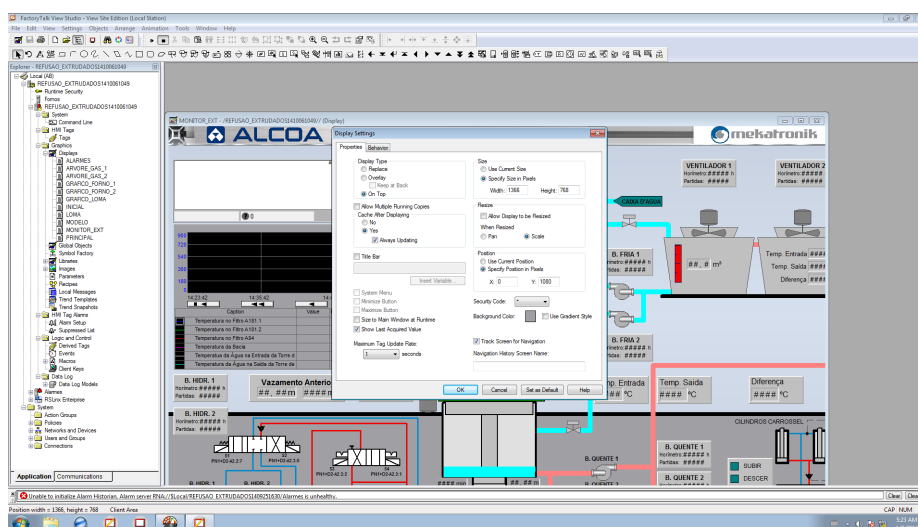


Figura 16 – Interface FactoryTalk View.

Fonte: Kopte (2014)<sup>3</sup>

### 3.3 Lógica de programação

Anteriormente, o poço tubular já possuía um CLP e sua respectiva lógica de programação. No entanto, após o CLP ter sido danificado, foi necessário substituí-lo. O novo CLP era de um modelo diferente e utilizava um *software* distinto para programação,

<sup>3</sup> <http://blog.mekatronik.com.br/2014/10/06/factorytalk-view-studio-utilizando-dois-monitores/>



o que gerou a necessidade de criar uma lógica que se adequasse à nova realidade, mas ainda se baseasse na anterior.

É importante ressaltar que os poços tubulares da mina em questão são frequentemente desligados em campo por motivos operacionais. Esse cenário causa lentidão no sistema supervisório, uma vez que ele constantemente procura os equipamentos dos poços e, ao não encontrá-los, entra em um *loop* até que os poços sejam ligados novamente.

Aproveitando a oportunidade de mudança, uma solução foi pensada: criar uma comunicação indireta entre o novo CLP do poço e o sistema supervisório, utilizando um segundo CLP como intermediário (figura 17). Dessa forma, mesmo quando o poço é desligado, ele não interfere no desempenho do SCADA. Portanto, o supervisório não fica mais sobrecarregado e há maior eficiência no processo de supervisão.

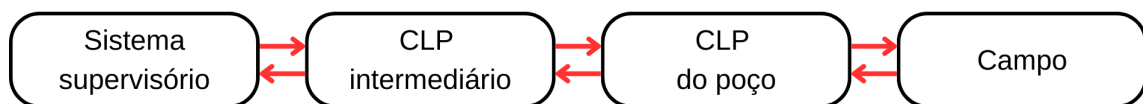


Figura 17 – Comunicação indireta proposta.

Fonte: Autor.

### 3.3.1 Definições gerais

#### 3.3.1.1 Modos de operação

O poço possui dois modos de operação: local e remoto. Quando em modo local, a bomba recebe os comandos liga e desliga exclusivamente das botoeiras de campo. Enquanto que, no modo remoto, o equipamento fica sob supervisão e comando da sala de controle por meio do sistema supervisório.

Um ponto fundamental é que o poço possui uma chave em campo para definir o modo de operação. Sendo assim, a posição dessa chave e a indicação no SCADA devem ser as mesmas, do contrário, o equipamento ficará intertravado devido ao modo de operação divergente. A tabela 1 exemplifica a relação entre os modos de operação em campo e supervisório, e o que acontece quando é dado o comando liga.

| Supervisório | Campo  | Comando               | Estado                                     |
|--------------|--------|-----------------------|--|
| Remoto       | Remoto | Liga via supervisório | Ligado                                     |
| Local        | Local  | Liga via campo        | Ligado                                     |
| Remoto       | Local  | Liga                  | Intertravado - Modo de operação divergente |
| Local        | Remoto | Liga                  | Intertravado - Modo de operação divergente |

Tabela 1 – Modos de operação e resposta ao comando liga.

Fonte: Autor.

### 3.3.1.2 Comandos

Os comandos podem ser executados tanto em campo quanto por meio do SCADA. Em campo, os comandos liga e desliga são feitos por meio das botoeiras físicas. Enquanto no sistema supervisório, os comandos liga, desliga e rearme podem ser enviados por meio da janela de operação do equipamento.

### 3.3.1.3 Estados

Os estados dos equipamentos são indicados por meio de animações de cores na tela e na janela de comando. A bomba pode assumir os seguintes estados:

- Funcionando;
- Parado;
- Ligando;
- Defeito;
- Intertravado.

### 3.3.1.4 Defeitos

A partir das informações provenientes do inversor de frequência, é possível diagnosticar o estado operacional da bomba e identificar a presença de eventuais defeitos ativos. Para além do diagnóstico do inversor, o projeto atual foi desenvolvido para detectar e monitorar os defeitos a seguir:

- Falha de comunicação entre os controladores;
- Defeito de rede no inversor;
- Defeito do inversor;
- Falha na partida;
- Inversor não habilitado;
- Emergência atuada;
- Desliga local atuado.

### 3.3.1.5 Intertravamentos

O intertravamento é um mecanismo utilizado para garantir que um equipamento seja ativado de maneira correta, considerando que ele depende de outro dispositivo ou de uma situação específica para o seu funcionamento.

Nesta lógica de programação, os intertravamentos informam ao operador que existe uma condição que está impedindo o equipamento de funcionar ou que o tenha desligado. A bomba do poço possui apenas dois intertravamentos:

- Modo de operação divergente;
- Nível de água muito baixo no poço.

### 3.3.1.6 Analógicas

O poço possui três medições analógicas: nível, vazão e corrente. O sensor de nível é responsável por realizar a medição da primeira grandeza, enquanto a vazão é calculada com base nos pulsos do hidrômetro. Já a terceira medição é obtida por meio das informações fornecidas pelo inversor de frequência.

### 3.3.1.7 Padronização de *tags*

As *tags* foram criadas conforme o padrão existente na empresa, tendo como propósito a identificação de um dispositivo ou instrumento, juntamente com suas devidas funções. As figuras 18 e 19 apresentam os modelos utilizados para equipamentos e instrumentos, respectivamente.

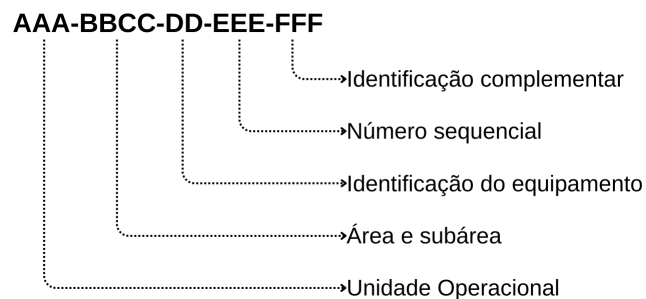


Figura 18 – Padrão de *tag* para identificação de equipamentos.

Fonte: Autor.

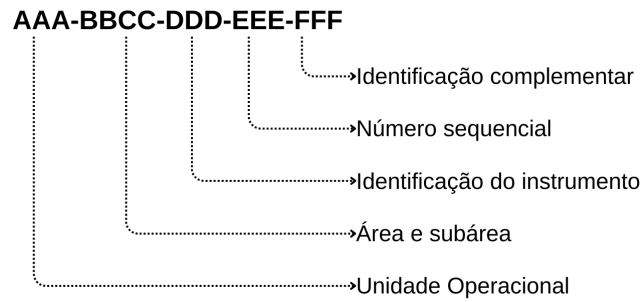


Figura 19 – Padrão de *tag* para identificação de instrumentos.

Fonte: Autor.

Como exemplo, a figura 20 ilustra a *tag* criada para representar a corrente da bomba utilizada no poço tubular.

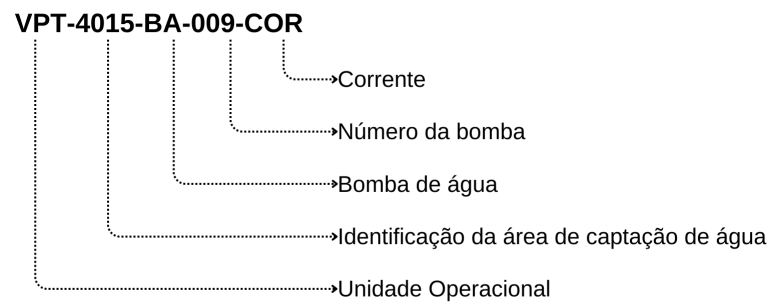


Figura 20 – Exemplo de *tag*.

Fonte: Autor.

### 3.3.1.8 Tipos de dados

A tabela 2 exibe os tipos de dados mais comuns na programação em Ladder. Neste trabalho, são empregados os tipos BOOL e DINT. O BOOL é usado para representar valores booleanos (*bits*), enquanto o DINT é utilizado em valores inteiros.

| Tipo de dados | Bits  |    |    |   |   |   |                   |
|---------------|---|----|----|---|---|---|-------------------|
|               | 31  | 16 | 15 | 8 | 7 | 1 | 0                 |
| BOOL          | Não usado   |    |    |   |   |   | 0 ou 1            |
| SINT          | Não usado   |    |    |   |   |   | -128 a +127       |
| INT           | Não usado   |    |    |   |   |   | -32.768 a +32.767 |
| DINT          | -2.147.483.648 a +2.147.483.647   |    |    |   |   |   |                   |
| REAL          | -3,40282347E <sup>-38</sup> a -1,17549435E <sup>-38</sup> (valores negativos) |    |    |   |   |   |                   |
|               | 0   |    |    |   |   |   |                   |
|               | 1,17549435E <sup>-38</sup> a 3,40282347E <sup>-38</sup> (valores positivos)   |    |    |   |   |   |                   |

Tabela 2 – Tipos de dados.

Fonte: Rockwell (2009)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm004\\_-pt-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm004_-pt-p.pdf)

## 3.4 Rotina de comunicação

Como foi ilustrado na figura 17, o CLP intermediário estabelece um contato direto com o SCADA, enquanto o CLP do poço realiza uma comunicação direta com o equipamento em campo. Como resultado, a comunicação entre os dois controladores acontece da seguinte maneira: o CompactLogix fornece informações físicas e operacionais do poço para o CLP intermediário, que, por sua vez, repassa dados e comandos do SCADA ao CompactLogix, permitindo uma interação eficiente e segura entre os elementos do sistema.

### 3.4.1 Comunicação via Produtor-Consumidor

A comunicação via produtor-consumidor é baseada em duas *tags*: uma para leitura (consumidor) e outra para escrita (produtor). Para manter o padrão adotado na empresa, a *tag* de leitura é identificado com o sufixo “READ”(figura 21), enquanto a *tag* de escrita recebe o sufixo “WRITE”(figura 22). Essas *tags* são do tipo DINT, que permite o envio de dados de inteiros para utilização no sistema.

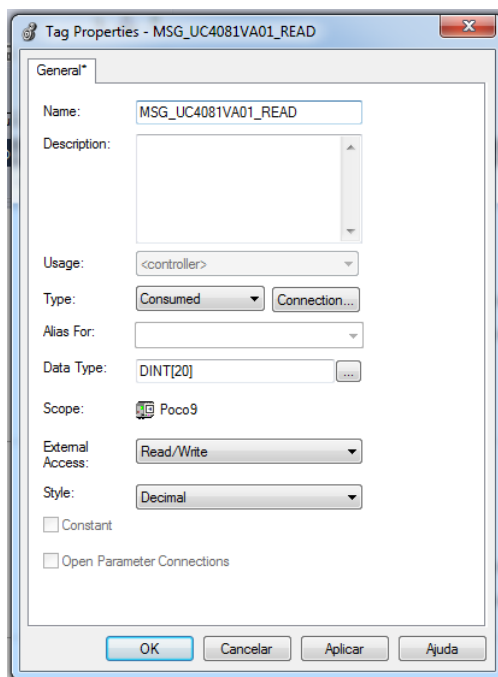


Figura 21 – *Tag* consumidor.

Fonte: Autor.

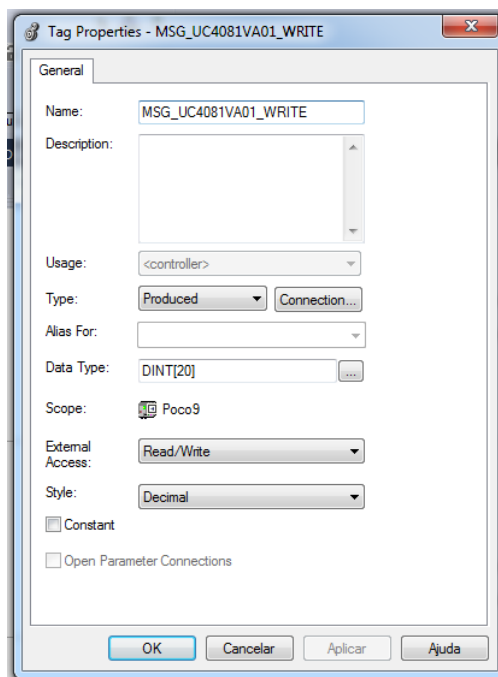


Figura 22 – *Tag* produtor.

Fonte: Autor.

### 3.4.2 CompactLogix

A lógica de comunicação no CompactLogix é baseada nos seguintes pontos:

- *Watchdog*: mecanismo para detectar a falha de comunicação entre os dois controladores. Para isso, um *bit* específico é constantemente enviado e recebido pelos controladores, como ilustra a figura 23. Caso o *bit* permaneça estático por mais de dez segundos, é considerado que ocorreu uma falha (figura 24).

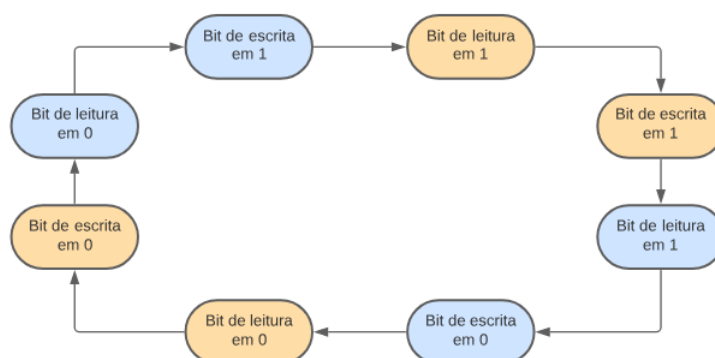


Figura 23 – *Bit* de verificação da comunicação. A cor azul representa o CompactLogix e a cor laranja representa o CLP intermediário.

Fonte: Autor.

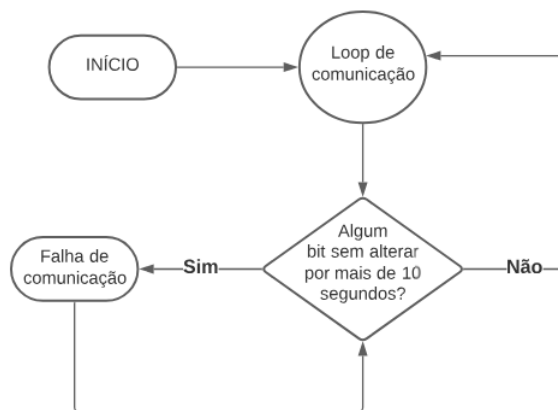


Figura 24 – Watchdog.

Fonte: Autor.

- *Write*: envio da leitura de analógicas (nível, vazão e corrente), como ilustra a figura 25. Por se tratar de um número inteiro, cada uma delas utiliza um DINT completo.

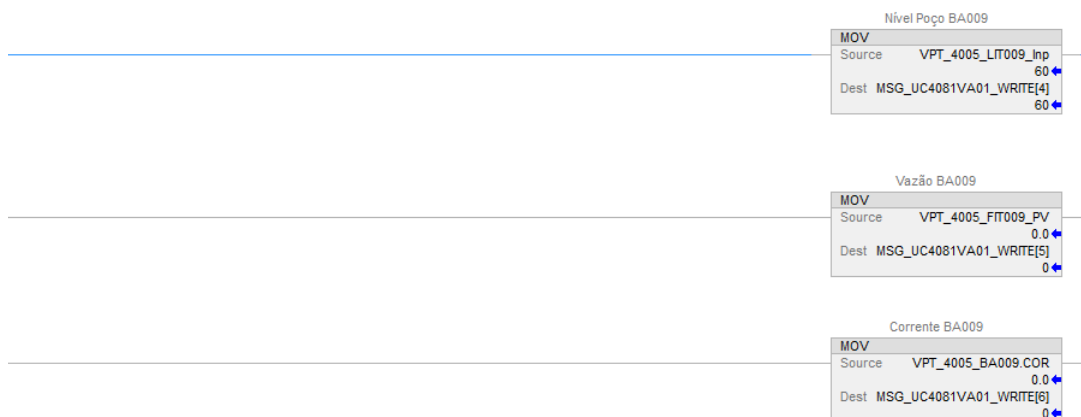


Figura 25 – Envio de analógicas no CompactLogix.

Fonte: Autor.

- *Read*: leitura do limite de nível muito baixo, definido no sistema supervisório (figura 26). O limite é enviado por meio de um DINT e tem como função possibilitar o intertravamento da bomba mesmo que ocorra uma falha na comunicação com o CLP intermediário.

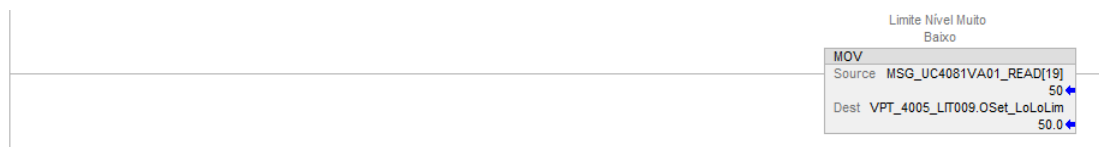


Figura 26 – Leitura do limite de nível.

Fonte: Autor.

### 3.4.3 CLP Intermediário

A lógica no CLP intermediário é baseada nos mesmos elementos citados anteriormente, porém funciona de maneira oposta na leitura e na escrita:

- *Watchdog*: mecanismo para detectar a falha de comunicação entre os controladores;
- *Read*: leitura dos valores de nível, vazão e corrente;
- *Write*: envio do valor de limite de nível muito baixo.

## 3.5 Rotina da bomba

### 3.5.1 CompactLogix

Esta rotina é composta apenas pelo bloco “Danfoss”(figura 27), que é responsável pelo controle do inversor e, conseqüentemente, pelo acionamento da bomba. Ele é constituído por:

| _DANFOSS_FC202 |                          |
|----------------|--------------------------|
| _DANFOSS_FC202 | VPT_4005_BA009           |
| ICL_LOC        | Local:1:I.Data.0         |
| ICR_REM        | Local:1:I.Data.1         |
| ICG_LIG        | Local:1:I.Data.2         |
| ICG_DSL        | Local:1:I.Data.3         |
| ICG_EMG        | Local:1:I.Data.4         |
| RCG_INV        | VPT_4005_BA009_REG_INV:O |
| REG_INV        | VPT_4005_BA009_REG_INV:I |
| VEL            | 0.0                      |
| WEG_DEF        | 1                        |
| WEG_FUN        | 0                        |
| WEG_LIG        | 0                        |
| WEG_LR         | 1                        |
| WEG_PPP        | 1                        |
| WEG_DCF        | VPT_4005_BA009_WEG_DCF   |
| IN_MSG         | MSG_UC4081VA01_READ      |
| OUT_MSG        | MSG_UC4081VA01_WRITE     |
| DEF_COM        | UC4081VA01_DEF_COM       |
| WEI_INT        | VPT_4005_LIT009.Alm_LoLo |

Figura 27 – Bloco Danfoss no CompactLogix.

Fonte: Autor.

- Leitura de variáveis de campo, como botoeiras e saídas do inversor;
- Estados do inversor;
- Modo de operação, detalhado na figura 28;
- Cálculo para referência de velocidade;



- Lógica de partida da bomba, detalhada na figura 29.

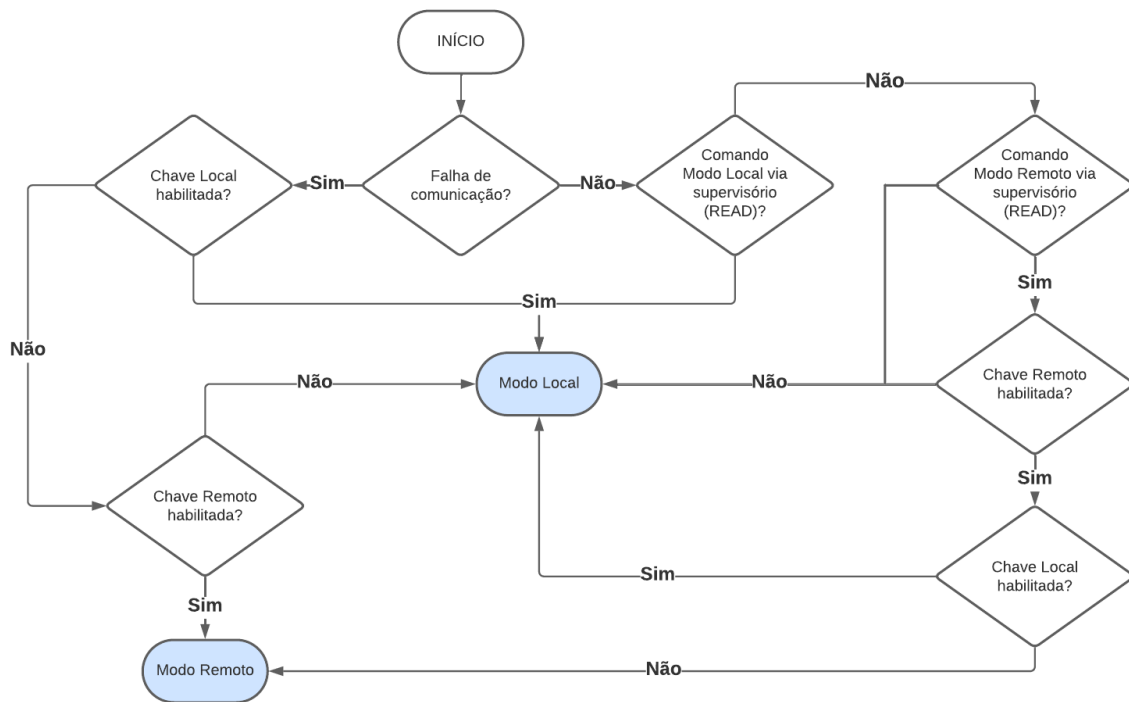


Figura 28 – Modos de operação.

Fonte: Autor.

As informações sobre defeitos, estados e modo de operação são provenientes do campo e enviadas para o CLP intermediário. Em contrapartida, o CompactLogix recebe as informações sobre intertravamentos, os comandos liga, desliga e rearme, bem como o comando de alteração entre os modos local e remoto. A figura 30 ilustra esse funcionamento.

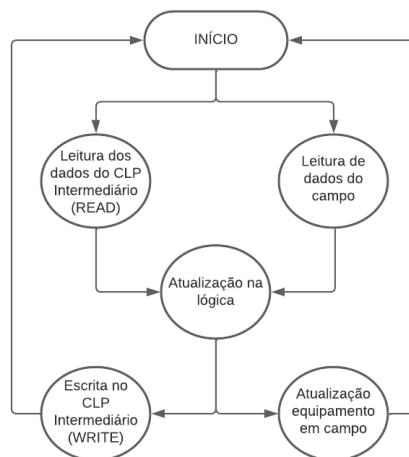


Figura 30 – Troca de dados no CompactLogix.

Fonte: Autor.

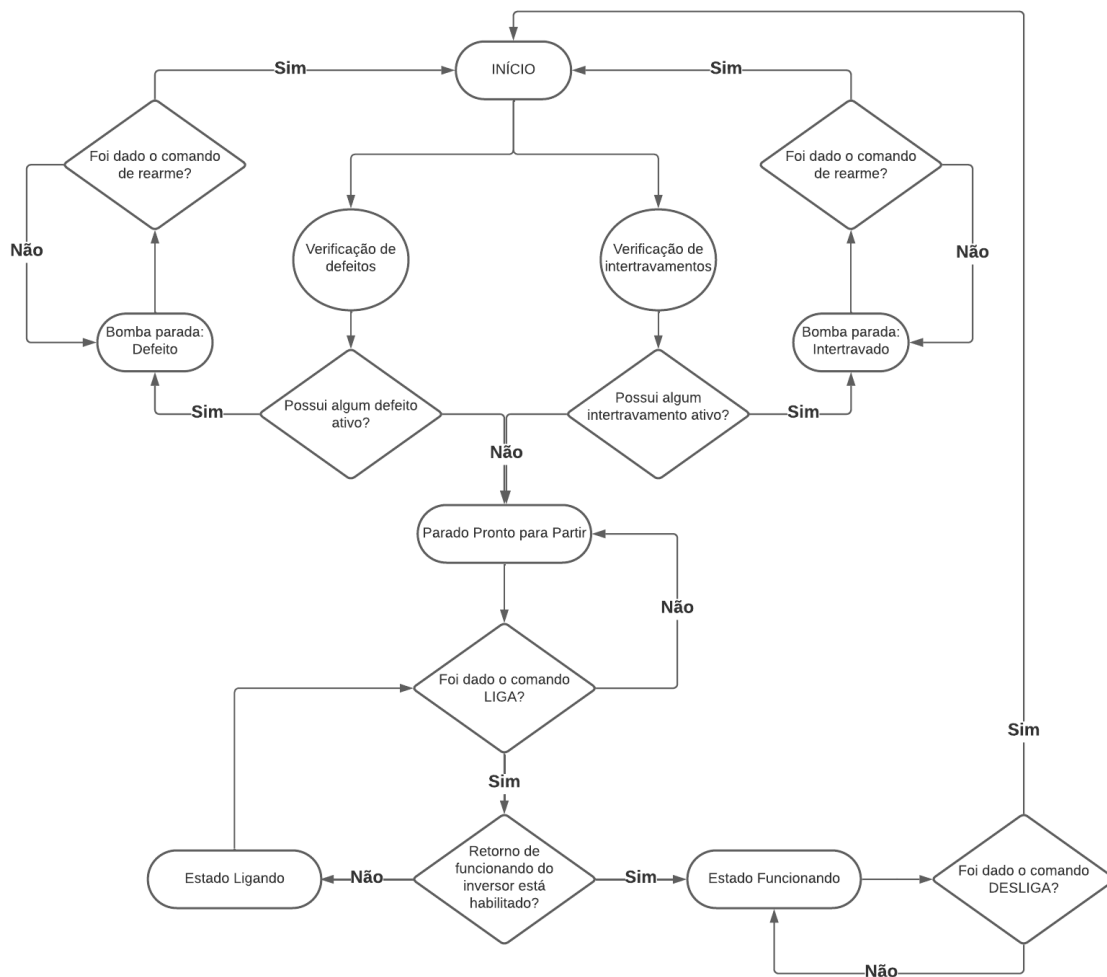


Figura 29 – Lógica de partida da bomba.

Fonte: Autor.

### 3.5.2 CLP Intermediário

Essa rotina é composta por dois pontos principais: o bloco “Poços Danfoss”(figura 31) e a comunicação com o sistema supervisor.

O bloco é responsável pela interface com o CompactLogix, realizando a leitura dos dados referentes a defeitos, estados e modo de operação e a escrita dos comandos vindos do supervisor e dos intertravamentos. A comunicação com o sistema supervisor é realizada fora do bloco e possibilita a atualização das informações apresentadas na janela de operação do equipamento. O funcionamento da lógica é demonstrado na figura 32.

| _Pocos_Danfoss |                          |
|----------------|--------------------------|
| _Pocos_Danfoss | VPT_4005_BA009           |
| WEG_LR         | 1 ←                      |
| WEG_MA         | 0 ←                      |
| WEG_PPP        | 0 ←                      |
| WEG_DEF        | 1 ←                      |
| WEG_LIG        | 0 ←                      |
| WEG_FUN        | 0 ←                      |
| MEG_EST        | 2 ←                      |
| MEG_MOD        | 1 ←                      |
| IN_MSG         | MSG_UC4005VA09_READ      |
| OUT_MSG        | MSG_UC4005VA09_WRITE     |
| VEL            | 10.0 ←                   |
| DEF_COM        | UC4005VA09_DEF_COM       |
|                | 0 ←                      |
| WEI_INT        | VPT_4005_LIT009.AIm_LoLo |

Figura 31 – Bloco Danfoss no CLP Intermediário.

Fonte: Autor.

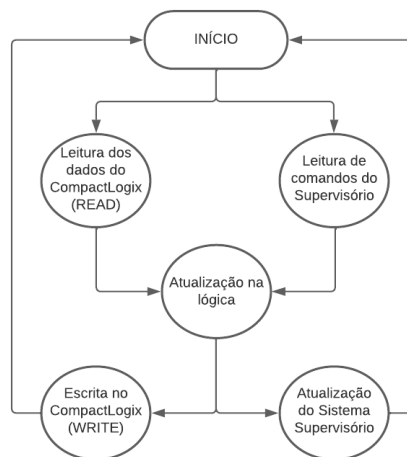


Figura 32 – Troca de dados no CLP Intermediário.

Fonte: Autor.

## 3.6 Rotina de analógicas

### 3.6.1 CompactLogix

#### 3.6.1.1 Vazão

Nesta rotina, a vazão é calculada conforme a totalização dos pulsos do hidrômetro digital. A figura 33 ilustra esse processo.

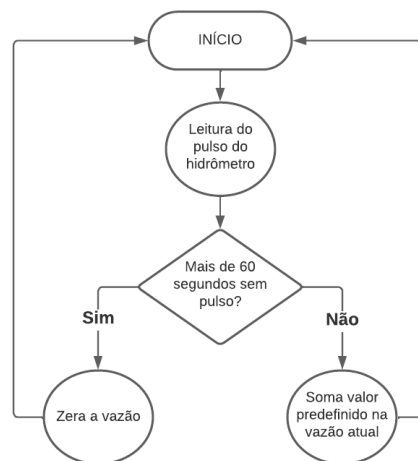


Figura 33 – Totalização da vazão.

Fonte: Autor.

### 3.6.1.2 Nível

A rotina de nível lê a entrada analógica do CLP referente ao nível do poço e realiza o processamento do sinal analógico. O tratamento é realizado por um bloco padrão de analógicas (figura 34) que apresenta:

- Conversão da unidade de entrada para a unidade de engenharia utilizada;
- Alarmes muito alto, alto, baixo e muito baixo;
- Monitoramento da entrada para identificar valores inconsistentes ou fora da faixa.

É importante frisar que o processamento da analógica de nível é realizado nos dois controladores. Isso acontece para permitir a identificação do nível e o intertravamento da bomba por nível muito baixo mesmo que a comunicação entre os controladores seja perdida.

| Analog Input |                          |
|--------------|--------------------------|
| P_Aln        | VPT_4005_LIT009          |
| Inp_PV       | 60.0                     |
| OCmd_Reset   | VPT_4005_BA009.WCG_CMD.3 |
| Val          | 60.0                     |
| Val_InpPV    | 60.0                     |
| Val_HiHiLim  | 1.5000000e+038           |
| Val_HiLim    | 1.5000000e+038           |
| Val_LoLim    | -1.5000000e+038          |
| Val_LoLoLim  | 50.0                     |
| Desc         | VPT_4005_LIT009_Desc     |
| Label        | VPT_4005_LIT009_Label    |
| T_Motor_PRE  | 5                        |

Figura 34 – Bloco para tratamento de analógicas.

Fonte: Autor.

## 3.6.2 CLP Intermediário

### 3.6.2.1 Vazão

A rotina atual recebe a vazão totalizada no CompactLogix e realiza o processamento do sinal analógico, utilizando o bloco padrão de analógicas (figura 34). Além disso, a rotina é responsável pela visualização do valor tratado no SCADA.

### 3.6.2.2 Nível

A rotina é responsável por receber o valor de nível lido pelo CompactLogix e realizar o processamento do sinal analógico, utilizando o bloco padrão (figura 34). Além disso, a rotina exibe o valor do nível no supervisório.

### 3.6.2.3 Corrente

A rotina recebe o valor de corrente enviado pelo CompactLogix, realiza o processamento do sinal analógico por meio do bloco (figura 34) e apresenta o valor tratado no sistema supervisório.

## 3.7 Desenvolvimento do sistema supervisório

### 3.7.1 Tela

A representação do poço no sistema supervisório foi criada, juntamente com a exibição de seu nível. A bomba também foi integrada e possui a visualização das analógicas de corrente e vazão. Essa implementação se deu por meio da utilização de objetos já existentes no SCADA, de modo a seguir o padrão da empresa. Para isso, o trabalho envolveu apenas a substituição dos nomes e endereçamentos nos objetos modelo pelas *tags* em uso atualmente.

### 3.7.2 Janela de comando

A janela de comando da bomba foi criada conforme o padrão existente na aplicação do supervisório, como mostra a figura 35.

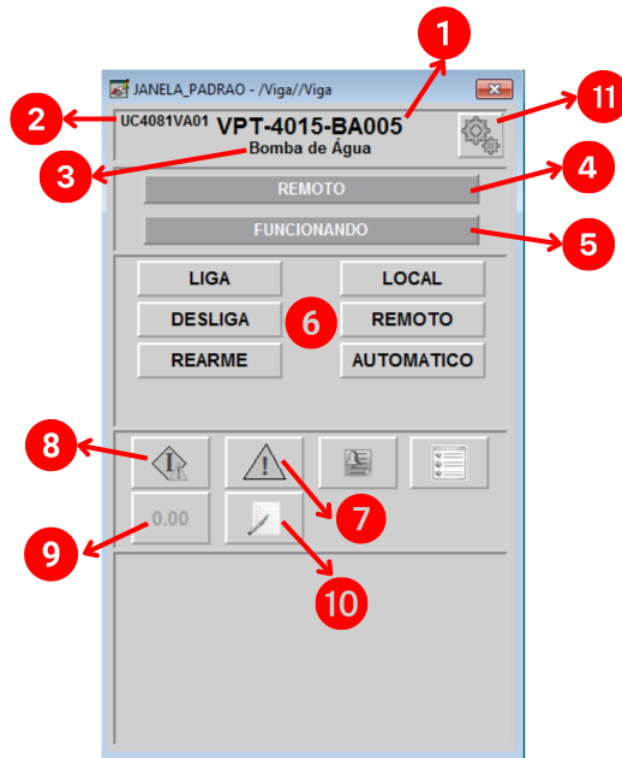


Figura 35 – Janela de comando.

Fonte: Autor.

1. Tag do equipamento;
2. Nome do CLP;
3. Descrição do equipamento;
4. Modo de operação do equipamento;
5. Estado do equipamento;
6. Comandos;
7. Defeitos;
8. Intertravamentos;
9. Entradas analógicas;
10. Saídas analógicas;
11. Janela para informações detalhadas e manutenção do equipamento no supervisório.

## 4 Resultados

Os testes em bancada foram iniciados após a conclusão da lógica de programação, da representação do processo no SCADA (figura 36) e da criação da janela de comando da bomba (figura 37). Esse tipo de teste oferece uma simulação muito próxima do ambiente em campo, porém de uma forma menos arriscada e com mais segurança.

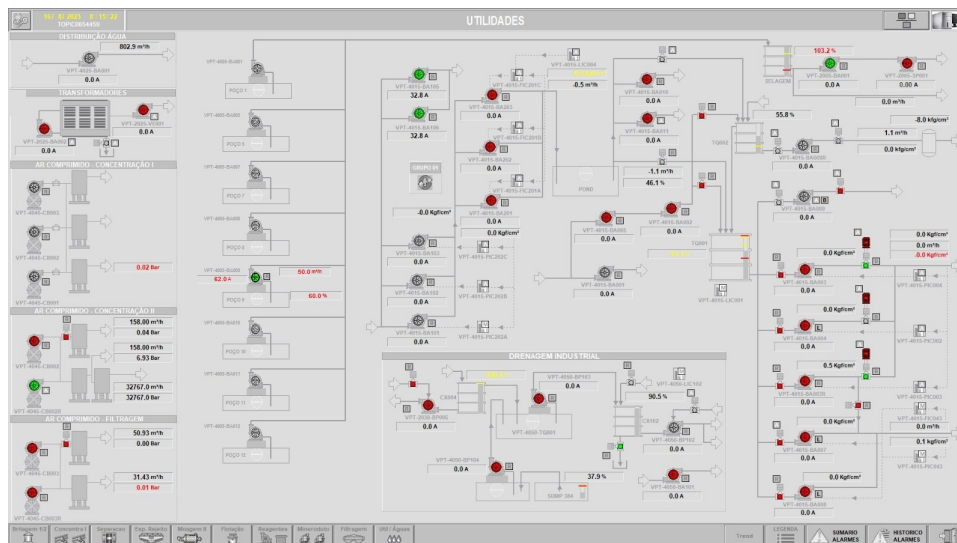


Figura 36 – Tela no sistema supervisório.

Fonte: Autor.



Figura 37 – Janela de comando da bomba.

Fonte: Autor.

A bancada de teste (figura 38) é composta por um CompactLogix, uma fonte 24V para sua alimentação, um ControlLogix, um *switch*, cabos de rede e dois *notebooks* para ajustes na lógica e acompanhamento do sistema supervisorio. Neste caso, o CompactLogix representa o CLP do poço e o ControlLogix corresponde ao CLP intermediário.



Figura 38 – Equipamentos utilizados no teste.

Fonte: Autor.

Na primeira etapa, a comunicação entre os dois controladores foi testada, enfrentando um grande desafio relacionado ao *path*. Esse termo se refere ao caminho em que os dados são transmitidos, incluindo endereços IP, método de comunicação e portas utilizadas nos controladores. Por ser extremamente específico e detalhado, a definição do *path* pode ser complicada.

Após a solução desse problema por meio do uso do *path* correto, a comunicação ocorreu de maneira adequada. Também foram realizadas simulações de perda de transmissão de dados e o *watchdog* detectou a falha de comunicação conforme o esperado.

A segunda fase do teste visava verificar o funcionamento dos comandos, tanto de botoeiras quanto do SCADA, e a atualização dos estados e modos de operação conforme os comandos. A maior dificuldade encontrada nesta etapa foi o tempo de *delay* entre os controladores que resultava em uma atualização incorreta das variáveis. Para solucionar isso, *tags* auxiliares e temporizadores foram implementados.

O terceiro teste realizado contou com a simulação de defeitos e intertravamentos e teve um resultado positivo, visto que as animações da tela ocorreram como esperado. As figuras 39 e 40 ilustram a janela de defeitos e intertravamentos, respectivamente.



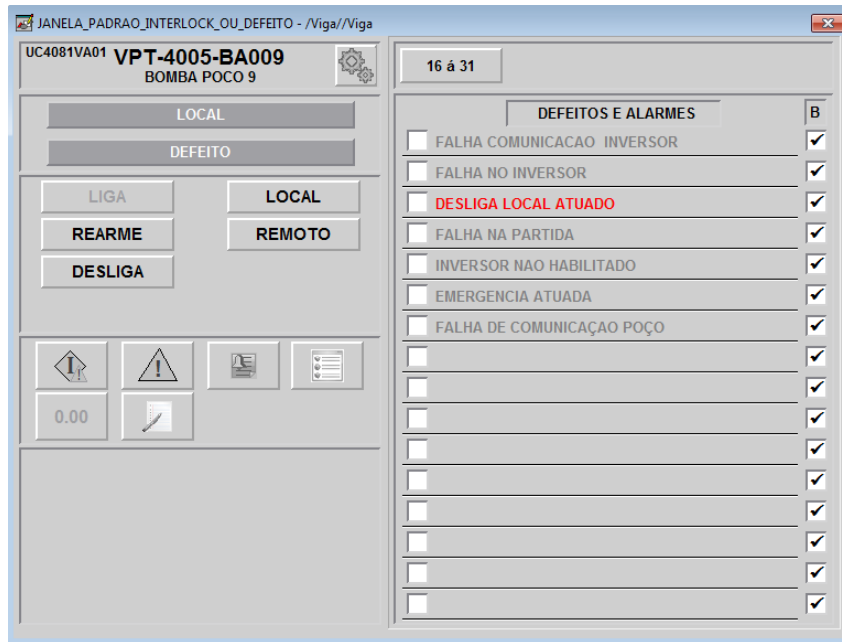


Figura 39 – Janela de defeitos. Quando em vermelho, o defeito está ativo.

Fonte: Autor.

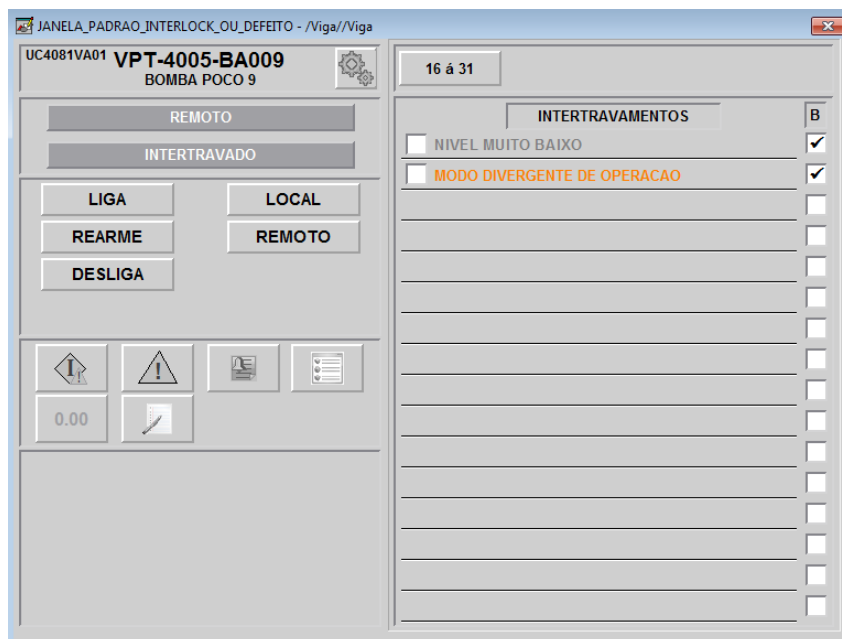


Figura 40 – Janela de intertravamentos. Quando em laranja, o intertravamento está ativo.

Fonte: Autor.

Finalmente, a última etapa envolveu o teste das analógicas e a transferência de seus valores entre os controladores. Ambas as etapas tiveram resultados satisfatórios, uma vez que os testes ocorreram sem travamentos ou erros e o bloco de analógicas funcionou como deveria. A figura 41 apresenta a interface visual do poço com suas respectivas medições e as figuras 42, 43 e 44 apresentam as janelas de analógicas de vazão, nível e corrente, respectivamente.

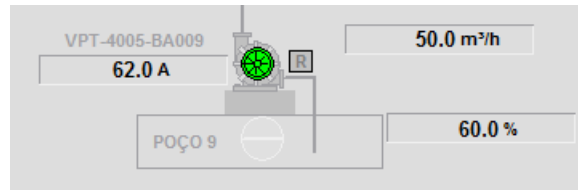


Figura 41 – Representação do poço e suas medições.

Fonte: Autor.

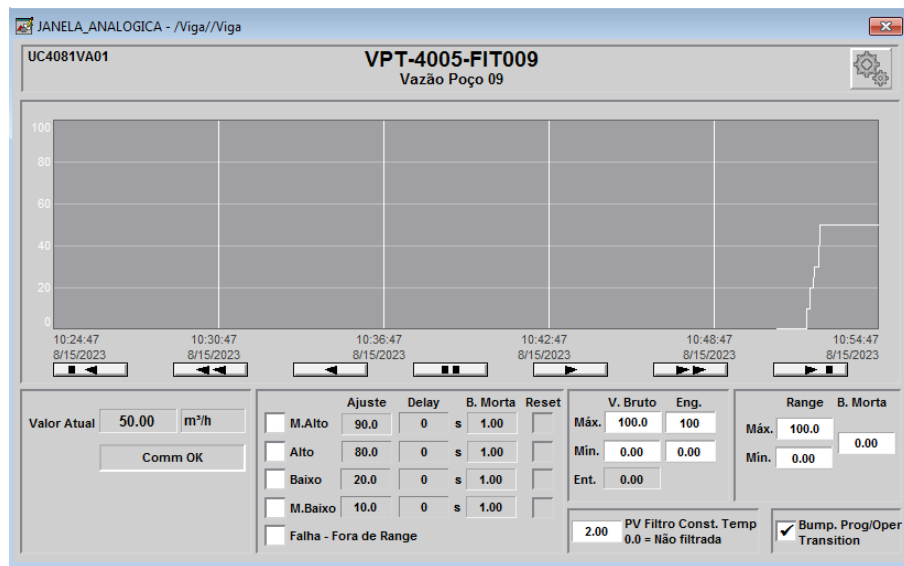


Figura 42 – Janela analógica de vazão com valores simulados.

Fonte: Autor.

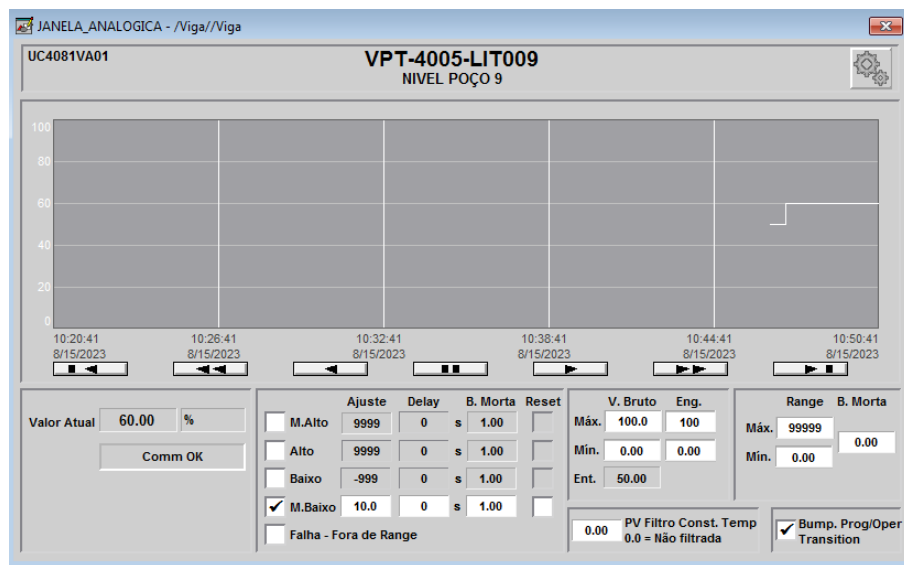


Figura 43 – Janela analógica de nível com valores simulados.

Fonte: Autor.

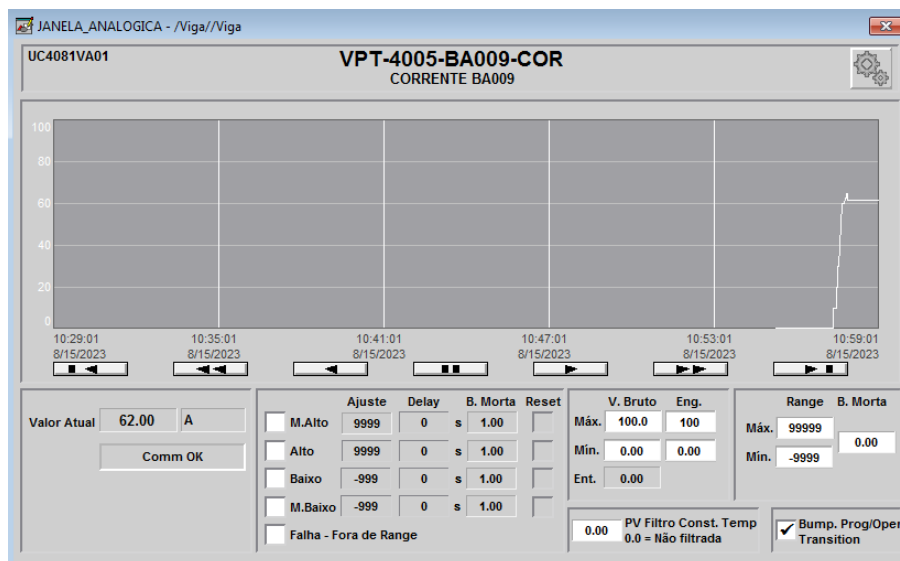


Figura 44 – Janela analógica de corrente com valores simulados.

Fonte: Autor.

Depois de finalizados os testes de bancada, as adequações em campo foram iniciadas. A equipe de automação realizou a substituição do controlador, adicionando o novo CLP CompactLogix (figura 45). Além disso, também foram realizados testes de comunicação e o sistema funcionou conforme o projetado.

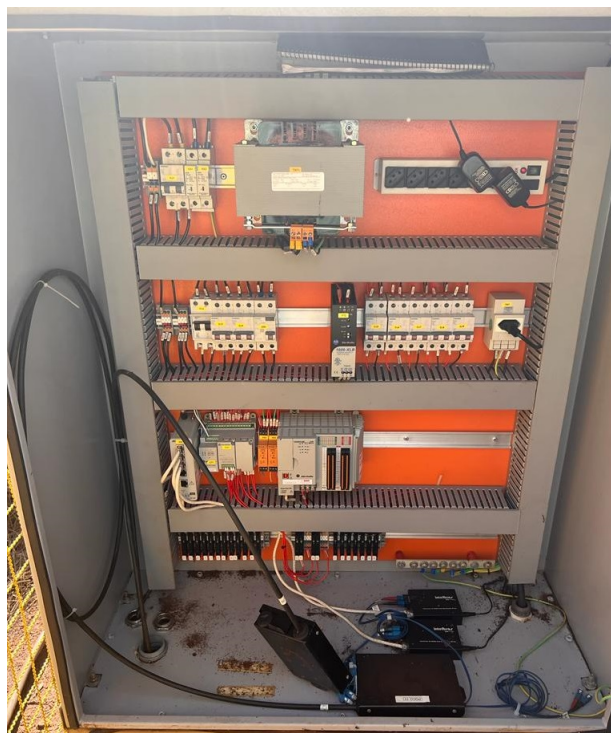


Figura 45 – Painel de automação com o CompactLogix.

Fonte: Autor.

Posteriormente, o sistema que realiza o gerenciamento dos controladores e de suas

respectivas lógicas foi atualizado: o novo CompactLogix foi integrado e a lógica do CLP intermediário foi ajustada para se adequar à nova comunicação. Além disso, a tela do sistema supervisor também foi complementada com o novo processo.

No momento da realização desse trabalho, a automação do sistema de captação de água está pronta para o comissionamento. Entretanto, é necessário realizar as ligações elétricas no novo CLP, bem como transferir as entradas e saídas do antigo controlador para o CompactLogix. Essa etapa é responsabilidade da equipe de elétrica e, por questões burocráticas da empresa, ainda não foi realizada.

## 5 Conclusão

Neste projeto, o objetivo central foi aprimorar o desempenho e a segurança no processo de captação de água por meio da substituição do controlador lógico programável utilizado no poço tubular. A estratégia de implementação envolveu duas etapas principais: o desenvolvimento da lógica de programação e a criação de uma interface visual no sistema supervisório.

Um outro ponto de melhoria, tratado no desenvolvimento do trabalho, foi otimizar o funcionamento do SCADA e eliminar as ocorrências de lentidão que aconteciam devido ao desligamento do poço. Para isso, foi estabelecida uma comunicação indireta entre o CLP do poço e o sistema supervisório. A partir disso, o controle e monitoramento do poço se tornou mais eficiente, assim como o acompanhamento dos seus dados.

O trabalho foi bem sucedido e atingiu o seu propósito, visto que os testes em bancada funcionaram bem e permitiram um melhor desempenho do sistema. Dito isso, o próximo passo é concluir a etapa de comissionamento, validando a eficácia do projeto em campo. Como trabalhos futuros, será realizada a replicação do *retrofit* para os outros poços visando otimizar todo o sistema de captação de água, ampliando as melhorias conquistadas.

## Referências

- ABUD, Michelle Cintra et al. Operação e manutenção dos poços de rebaixamento em mina a céu aberto, um estudo de caso do complexo mineroquímico de Araxá da Vale Fertilizantes. *Águas Subterrâneas*, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 13, 16.
- ARTESIANOS, PAAS Poços. *Sensor de nível hidrostático*. 2023. Acessado em 07 Ago. 2023. Disponível em: <https://www.paasposartesianos.com/post/sensor-de-n%C3%ADvel-hidrost%C3%A1tico>. Citado 1 vez na página 29.
- CALEGARI, Raphael. *Switch Industrial – Você sabe quando utilizar? Aprenda conosco*. Acessado em 05 Ago. 2023. Murr Elektronik. 2017. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/switch-industrial/>. Citado 1 vez na página 23.
- COSTA FILHO, Walter Duarte et al. *Noções básicas sobre poços tubulares: cartilha informativa*. 1998. Citado 1 vez nas páginas 16, 17.
- COUTO, Ronaldo Teixeira. Ethernet Industrial. *Monografia (Graduação em Engenharia de*, 2010. Citado 1 vez na página 22.
- DANFOSS. *Aumente sua eficiência e reduza seus custos com o VLT® AQUA Drive FC 202*. Osasco, São Paulo, 2018. P. 2. Citado 2 vezes na página 29.
- EBARA. *Motobombas Submersas: Modelos BHS, BHSE, BHSS, 4BPS, 4BPL e 4BPLi: Manual de Instruções e Termo de Garantia*. [S.I.] P. 32. Citado 1 vez na página 26.
- ELETRONOR. *Saiba tudo sobre o lançamento do Studio5000 Logix Designer V31*. Acessado em 05 Ago. 2023. 2018. Disponível em: <https://www.eletronor.com/blog/saiba-tudo-sobre-o-lancamento-do-studio5000-logix-designer-v31>. Citado 1 vez na página 30.
- FERRARI, Tatiane Caroline et al. *Instrumentação e Controle de Processos*. Arysinha Affonso, 2021. v. 1. Acessado em 05 Ago. 2023. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902036/>. Citado 1 vez na página 18.
- FILHO, Eduardo Lima Godoi. Retrofit de máquina envelopadora em indústria farmacêutica, 2019. Citado 1 vez na página 24.
- FRANCH, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luis Arlindo de. *Controladores Lógicos Programáveis*. 2021. v. 3. Acessado em 06 Ago. 2023. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536533605/pages/recent>. Citado 2 vezes nas páginas 18–21.
- FRANCHI, Claiton Moro. *Sistemas de acionamento elétrico*. Saraiva Educação SA, 2014. Citado 1 vez na página 21.
- FRANCHI, Claiton Moro. *Acionamentos elétricos*. Saraiva Educação SA, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 21, 22.

- INTELBRAS. *Conversores de mídia: o que você precisa saber*. 2019. Acessado em 04 Ago. 2023. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/conversores-de-midia-o-que-voce-precisa-saber/#:~:text=Conversores%20de%20m%C3%ADdia%20s%C3%A3o%20equipamentos,vez%20de%20fios%20de%20cobre>. Citado 1 vez na página 24.
- INTELBRAS. *Diferenças entre cabeamento de cobre e fibra óptica*. 2023. Acessado em 04 Ago. 2023. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/qual-a-diferenca-entre-cabo-e-fibra-optica/>. Citado 1 vez na página 24.
- INTELBRAS. *Por que optar pela fibra óptica?* 2016. Acessado em 04 Ago. 2023. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/por-que-utilizar-conversores-de-midia-e-modulos-mini-gbic-na-implantacao-ou-expansao-de-uma-rede-com-fibra-optica-3/>. Citado 1 vez na página 24.
- LAGE, Eron Antonio. Controle e automação na indústria da mineração, estudo de caso., 2021. Citado 1 vez na página 16.
- LEITE FILHO, Gilberto Denis de Souza et al. Avaliação de performance em retrofit parcial de S5 para S7, com substituição da cpu e manutenção dos módulos de IO. In: 1. CONGRESSO Brasileiro de Automática-CBA. 2019. v. 1. Citado 1 vez na página 25.
- LOPES, Marcos. *Mineração 4.0 – Tecnologia E Inovação Na Mineração*. Acessado em 02 Ago. 2023. Técnico e Mineração. 2020. Disponível em: <https://tecnicoemineracao.com.br/mineracao-4-0/>. Citado 2 vezes nas páginas 13, 16.
- LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. Introdução ao tratamento de minérios. In: CETEM/MCTIC, 2018. Citado 2 vezes na página 13.
- LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. *Tratamento de minérios*. CETEM/MCT, 2010. Citado 2 vezes na página 13.
- NETAFIM. *Hydrometers: operation, installation maintenance guide*. Fresno, Califórnia, 2016. P. 52. Citado 1 vez na página 29.
- ODVA. *Common Industrial Protocol (CIP™)*. 2023. Acessado em 07 Ago. 2023. Disponível em: <https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/common-industrial-protocol-cip/>. Citado 1 vez na página 23.
- PETRUZELLA, Frank D. *Controladores lógicos programáveis*. AMGH Editora, 2014. Citado 1 vez na página 19.
- ROCKWELL, Automation. *CompactLogix Controllers Specifications*. Estados Unidos, 2023. P. 74. Citado 1 vez na página 30.
- ROCKWELL, Automation. *Controladores CompactLogix 5370*. Acessado em 07 Ago. 2023. 2023. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/compactlogix-family/compactlogix-5370-controllers.html#resources>. Citado 1 vez na página 30.

ROCKWELL, Automation. *FactoryTalk View - Software de IHM*. Acessado em 07 Ago. 2023. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/software/factorytalk/operationsuite/view.html>. Citado 1 vez na página 30.

ROCKWELL, Automation. *Tags produzidas e consumidas dos Controladores Logix 5000*. [S.I.], 2018. P. 46. Citado 1 vez na página 20.

RODRIGUES, Rodrigo. *Controle e automação da produção*. Porto Alegre: SAGAH, 2016. Citado 1 vez na página 20.

SOUZA, Glauber Cabral de. *Retrofit em uma máquina de papelão ondulado*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Citado 1 vez na página 25.

VENTURELLI, Márcio. *Redes Ethernet Industrial: Conceito e aplicação na Automação e Controle Industrial*. Acessado em 05 Ago. 2023. Automação Industrial. 2021. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/redes-ethernet-industrial-conceito-e-aplicacao-na-automacao-e-controle-industrial/>. Citado 2 vezes na página 22.