



**VITOR GABRIEL DE CASTRO RIBEIRO**

**ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE  
MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO DE POÇOS  
ARTESIANOS E ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**VITOR GABRIEL DE CASTRO RIBEIRO**

**ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO  
DE POÇOS ARTESIANOS E ABASTECIMENTO DE ÁGUA.**

Relatório Técnico apresentado à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia de Controle e  
Automação, para a obtenção do título  
de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2022**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por me permitir seguir esse caminho e me guiar nessa trajetória.

Segundamente à minha família, que me apoiou na ida à Lavras e me deu suporte nos momentos de dificuldade que passei durante minha estadia. Domiciara, Felipe e Yohanna, vocês são a razão disso tudo.

Aos meus irmãos de Lavras, que deram suporte e ajudaram a lidar com as adversidades de morar longe de casa, Afonso, Felipe, Vina, Pontes, Michel, Bruno e Jorge. O vínculo que criei com vocês nunca vai ser esquecido.

Aos professores e colegas de classe, que me ajudaram chegar neste momento. Especialmente à Roberta, Rafaella e José, sem a ajuda de vocês teria sido muito mais difícil.

À Robótica Jr, que me proporcionou crescer pessoal e profissionalmente. Os anos e os setores que passei na empresa me guiaram no que, hoje, acredito ser o caminho profissional a seguir.

Por último, ao meu orientador Leonardo Paiva, pela amizade, conselhos e ajuda durante este período.

**OBRIGADO POR TUDO!**

## RESUMO

O trabalho aqui apresentado trata-se de um relatório técnico feito em uma indústria do setor químico, em Sete Lagoas/MG. Nele, foi definido o processo de automação e monitoramento dos poços artesianos e do sistema de abastecimento de água da empresa. O trabalho tem como base o uso de controladores, interfaces e instrumentos hidráulicos para otimizar o tempo e vazão estabelecidas pela outorga dos poços artesianos. A automação de sistemas industriais permite reduzir gastos, facilitar os processos e conectar instrumentos distantes fisicamente. Todos esses fatores, quando ligados em rede, nos possibilitam monitorar e controlar acontecimentos dos sistemas.

**Palavras-Chave:** Automação. Poços Artesianos. Sistema de Abastecimento. IHM.

## **ABSTRACT**

The work presented here is a technical report developed for a chemical industry, in Sete Lagoas/MG. It exposes the automation process and monitoring of artesian wells and company water supply system. The work is based on the use of controllers, interfaces and hydraulic instruments to optimize the time and flow established by the license of artesian wells. The automation of industrial systems makes it possible to reduce costs, facilitate processes and connect physically distant instruments. All these factors, when connected in a network, also allow us to monitor and control the events of the systems.

**Keywords:** Automation. Artesian Wells. Suplly System. MMI.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidade de Sete Lagoas – MG .....	11
Figura 2 – Tubo galvanizado rosqueado.....	15
Figura 3 – Tubo de aço sem costura.....	15
Figura 4 – Tubo flexível de aço inox.....	15
Figura 5 – Bomba centrífuga.....	16
Figura 6 – Bomba hidrostática Rexrooth.....	16
Figura 7 – Válvula solenoide.....	17
Figura 8 – Transmissor de pressão com <i>strain gauge</i> .....	18
Figura 9 – Sensor piezoelétrico.....	19
Figura 10 – Transmissor de pressão capacitivo.....	19
Figura 11 – Diagrama de Blocos CLP.....	20
Figura 12 – Linguagem FBD.....	21
Figura 13 – IHM Siemens.....	22
Figura 14 – Desenho original rede ethernet.....	25
Figura 15 – Localização dos ambientes.....	27
Figura 16 – Circuito de comando anterior.....	28
Figura 17 – Diagrama P&ID do projeto.....	30
Figura 18 – Diagrama P&ID adaptado.....	31
Figura 19 – Controlador NOVUS caixa principal.....	33
Figura 20 – <i>Switch</i> de área.....	33
Figura 21 – Conexão de rede do projeto.....	34
Figura 22 – FBD abastecimento caixa principal.....	35
Figura 23 – Declaração de variáveis.....	36
Figura 24 – FBD abastecimento caixa secundária.....	36
Figura 25 – FBD tratamento de conexão.....	37
Figura 26 – FBD monitoramento de sobrecarga.....	38
Figura 27 – FBD de alarme.....	39
Figura 28 – FBD de dados para IHM.....	39
Figura 29 – FBD de troca de acionamento.....	40
Figura 30 – FBD de memórias.....	40
Figura 31 – Construção de botão IHM.....	41

Figura 32 – Tela IHM caixa principal.....	41
Figura 33 – Tela IHM poços artesianos.....	42
Figura 34 – Tela IHM caixa secundária.....	42
Figura 35 – Parametrização de variáveis no IHM.....	43
Figura 36 – Painel de monitoramento.....	43
Figura 37 – Painel de monitoramento instalado.....	44
Figura 38 – Gráfico de vazão poço 2.....	45
Figura 39 – Gráfico de captação poço 2.....	46
Figura 40 – Gráfico de consumo semanal poço 2.....	46
Figura 41 – Gráfico de vazão poço 3.....	47
Figura 42 – Gráfico de captação poço 3.....	47
Figura 43 – Gráfico de consumo semanal poço 3.....	48
Figura 44 – Gráfico de vazão poço 4.....	48
Figura 45 – Gráfico de captação poço 4.....	49
Figura 46 – Gráfico de consumo semanal poço 4.....	49
Figura 47 – IHM em funcionamento.....	50

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
2.1. Objetivo Geral.....	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
3.1. Poços Artesianos.....	13
3.2. Sistemas Hidráulicos Industriais.....	14
3.2.1. Condutores Hidráulicos.....	14
3.2.2. Bombas Hidráulicas.....	16
3.2.3. Válvulas.....	17
3.3. Transmissores.....	17
3.3.1. Transmissores de Pressão.....	18
3.4. Controladores Lógicos Programáveis.....	19
3.4.1. Linguagem de Blocos.....	21
3.5. Interfaces.....	21
3.5.1. Interface Homem-Máquina.....	22
3.5.2. Uso de Interfaces na Indústria.....	23
3.6. Redes de Computadores.....	23
3.6.1. Rede Ethernet.....	24
3.6.2. Protocolos.....	25
3.6.3. Protocolo Ethernet.....	26
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
4.1. O Projeto.....	27
4.2. Diagrama P&Id.....	29
4.3. Materiais.....	31

<b>4.4. Lógica de Funcionamento .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4.1. Lógica CLP Caixa Principal.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4.2. Lógica CLP Caixa Secundária .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.3. Lógica CLP Oficina .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5. Desenvolvimento IHM.....</b>	<b>40</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO 1 – FBD ABASTECIMENTO CAIXA PRINCIPAL .....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela prática de preços cada vez mais atrativos ao consumidor passa por diversos âmbitos: custos de produção, lucro projetado, mão de obra, valor de mercado, despesas variáveis e despesas fixas. Nem sempre é possível reduzir o custo de um fator em específico.

Os processos, que interligam boa parte desses âmbitos, são responsáveis por gerar direta ou indiretamente transformações, sejam em um produto final ou intermediário. Dessa maneira, neles estão contidas diversas variáveis que podem, ou não, serem controladas: *inputs*, *outputs*, ordenação, tempo de execução, espaço, demanda, dentre outras.

A percepção e o conhecimento sobre determinado processo e suas etapas se tornam, então, imprescindíveis para que se possa propor melhorias e traçar resultados em busca do sucesso em um negócio (SCARTEZINI, 2009). Diante das diversas maneiras de se melhorar um processo, a automação se destaca.

A palavra automação tem sua origem no grego *automatus*, cujo significado é *mover-se por si*. E, apesar de fazer parte de um processo gradual, podemos considerar que a introdução da automação na indústria começou no século XX, na terceira revolução industrial. Nela a tecnologia aplicada em computadores se aproximou das aplicadas na produção por meio de eletricidade.

Hoje, décadas após, o desenvolvimento da automação em um determinado processo pode passar por diversos âmbitos: cyber-físicos e internet das coisas, modularidades, armazenamento em nuvem, dentre diversas outras possibilidades que variam de acordo com a metodologia escolhida para o projeto.

Na indústria química, por exemplo, um importante processo é o de uso e distribuição da água. Entretanto, devido ao elevado consumo e potencial poluidor do setor, sua utilização é tratada com bastante cautela pelas empresas. Fato comprovado pela ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química) que coordena o projeto denominado Programa Atuação Responsável® com o objetivo de auxiliar na gestão das atividades em saúde, segurança e meio ambiente. No que tange o consumo de água, seus indicadores mostraram que, em um período de 10 anos (2006-2016), foi possível reduzir em 25% o volume de água captada por tonelada de produto produzido neste setor industrial (DELOITTE, 2018).

Diante da necessidade de diminuir custos de produção, maior supervisão e aliado à adesão pelo consumo sustentável, foi proposto o desenvolvimento de um sistema de

monitoramento e automação dos poços artesianos e abastecimento de água em uma indústria de processos químicos.

O sistema de controle em questão foi aplicado em um processo responsável por transportar a água retirada dos poços artesianos às caixas d'água encarregadas por setores específicos da fábrica. Já o sistema de monitoramento foi empregado à caixa d'água principal, que é abastecida pelos poços, a fim de evitar insuficiência ou transbordo e, conseqüentemente, parada da produção.

Neste processo foi projetado o controle por meio do CLP (Controlador Lógico Programável) Logo Siemens, responsável pelo acionamento das válvulas e bombas envolvidas no processo, e referenciado pela supervisão de nível proporcionado pelas próprias bombas e transmissores de pressão presentes nos ambientes manipulados. O sistema de monitoramento, por sua vez, foi planejado com uma IHM (Interface Homem Máquina) Siemens, que retorna a nível do tanque fornecido pelo sensor, e um alarme, para caso de insuficiência ou transbordo.

Diante aos conteúdos e conceitos apresentados aqui, este trabalho se trata de um estudo de caso elaborado durante o período de estágio na área de projetos e automação de uma indústria química sediada em Sete Lagoas, Minas Gerais. O estágio, realizado junto ao setor de manutenção industrial, se desenvolveu no acompanhamento e auxílio de projetos de automação e elétricos, adequação à normas, documentação e apresentação destes.

A empresa abordada se trata de uma indústria química, conforme apresentado na Figura 1. Ela se divide em diversos segmentos, incluindo nutrição vegetal: na produção de fertilizantes foliares, granulados e minerais; nutrição animal: com óxidos e sais; e também itens de aplicação industrial: produtos utilizados para diversas funcionalidades na indústria, tais como pigmentação, química fina, tratamento de água e efluentes, dentre outros.

Em meio a todas essas áreas, a empresa se destaca no setor de micronutrientes, animais e vegetais, sendo líder nacional no ramo.

Figura 1 – Unidade de Sete Lagoas - MG



Fonte: Arquivo da Empresa (2022).

## **2. OBJETIVOS**

A partir do que foi referenciado e buscando o avanço do trabalho, foram estabelecidos os objetivos.

### **2.1. Objetivo Geral**

O intuito principal deste trabalho foi fazer a análise crítica e implementação dos fundamentos de automação em um dos sistemas de distribuição de água da empresa. O processo deve ser capaz de controlar a entrada e saída de água da caixa principal de acordo com o tempo de funcionamento e vazão das bombas dos poços artesianos, além de atender à demanda das caixas secundárias espalhadas pela planta.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Para que fosse possível a realização desse trabalho foram estabelecidos:

- Análise do sistema hidráulico específico da empresa;
- Especificação de instrumentação com base em diagramas P&Id;
- Utilização dos equipamentos já presentes na empresa;
- Dar fim ao transbordo de água;
- Redução de deslocamento para manutenção;
- Comprovação de resultados.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

A empresa em questão utiliza de poços artesianos para o abastecimento e distribuição de seu sistema hidráulico. Para evolução deste trabalho, é necessário situar a utilização dessa fonte, entender como e qual a melhor maneira de se controlar e monitorar esse processo, os sensores e atuadores nele envolvidos e, posteriormente, avaliar sua aplicabilidade.

#### 3.1. Poços Artesianos

Define-se poço artesiano toda cavidade confinada em que a água é levada a um nível superior naturalmente, o que ocorre devido a diferença de pressão existente entre a atmosfera e a própria água (FAGUNDES; AMORIM, 2015). Entretanto, dependendo da finalidade e vazão projetada por dia, é necessário obter uma outorga de uso do poço.

A outorga de poços artesianos é uma autorização que varia de acordo com o estado do país. É uma forma governamental de mapear e controlar o uso desse recurso quantitativa e qualitativamente, fazendo com que fique mais fácil evitar a escassez de água em território nacional. Ela estabelece as condições e o período de uso dos recursos hídricos.

Em Minas Gerais, o órgão responsável pelo licenciamento é o IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das águas). E, para demandas no setor industrial, o IGAM analisa diversos fatores antes de estabelecer os parâmetros de outorga, tais como: tecnologias envolvidas, matérias primas utilizadas, produtos, capacidade de produção e outros fatores de acordo com a tipologia industrial (IGAM, 2010).

No caso da indústria em questão a outorga já realizada dos poços artesianos utilizados no processo nos permite trabalhar nos seguintes parâmetros conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros de outorga dos poços

Poço Artesiano	Vazão	Intervalo de Descanso
Poço 2	35,0 m <sup>3</sup> /h	12 h
Poço 3	12,0 m <sup>3</sup> /h	12 h
Poço 4	50,0 m <sup>3</sup> /h	12 h

Fonte: o autor (2022).

Dessa maneira, os poços artesianos do sistema hidráulico trabalham no máximo 12 horas seguidas, para poder proporcionar as outras 12 horas de descanso para os lençóis freáticos. Cada poço tem, ainda, sua particularidade de vazão máxima, entretanto, caso o poço trabalhe em um valor abaixo dela não é permitido que ultrapasse o intervalo de tempo de operação estabelecido.

### **3.2. Sistemas Hidráulicos Industriais**

Os fluidos são elementos com diversas particularidades. Podem assumir muitas formas, alcançar altas velocidades, se comportar de forma rígida ou maleável, fornecer pressão ou simplesmente trocar calor. Quando falamos de hidráulica industrial estamos nos referindo principalmente à forma de aquisição e movimento dos fluidos (MOREIRA, 2012).

Pode-se considerar o francês Blaise Pascal como o precursor da movimentação indireta de fluidos, tudo devido ao seu princípio físico, observado experimentalmente em 1653. Neste ano, o cientista articulou que a pressão executada em qualquer ponto de um líquido estático é a mesma em qualquer outra direção e provoca forças iguais para áreas equivalentes (HIDALGO; QUEIROZ; ANSELMO, 2021). A partir desse momento, diversos cientistas se empenharam em prol de métodos que, hoje, regem os princípios de transmissão e multiplicação de forças, transformação e controle de movimentos em sistemas hidráulicos.

Segundo Moreira (2012), que leva em consideração os princípios físicos desencadeados pela lei de Pascal, o deslocamento e obtenção de fluidos, em âmbito industrial, é baseada em alguns pilares instrumentais, sendo cada um deles responsável por uma especificidade do processo. Dentre os pilares exemplificados e que cabem em nosso sistema, ressaltam-se os condutores, as bombas e as válvulas.

#### **3.2.1. Condutores Hidráulicos**

Assim com o nome induz, são responsáveis pela condução de determinado fluido em um sistema projetado. São encarregados, também, pela conexão dos elementos do sistema e normalmente estão presente entre bombas, reservatórios e atuadores. Os condutores são escolhidos de acordo com a necessidade do tipo de fluido e variam, dentre

outros, em canos de aço rosqueados, tubos de aço sem costura e mangueiras flexíveis (MOREIRA, 2012). Dentre eles, são importantes ressaltar:

- Canos de aço rosqueados: não são dobradiços e utilizam de conexões rosqueadas para mudança de direção e junção de componentes, vide Figura 2.

Figura 2 – Tubo galvanizado rosqueado



Fonte: Diferral (2022).

- Tubos de aço sem costura: assim como mostra Figura 3, podem ser curvados sem necessidade de conexões, não são vedados por roscas e sim por anéis de compressão.

Figura 3 – Tubo de aço sem costura



Fonte: Golin (2022).

- Mangueiras flexíveis: como pode ser observado na Figura 4, são propícias ao movimento, deslocamento e vibrações, podem utilizar das mesmas conexões dos tubos de aço sem costura e são escolhidas de acordo com o fluido transportado.

Figura 4 – Tubo flexível de aço inox



Fonte: Logfer (2022).

### 3.2.2. Bombas Hidráulicas

As bombas, citadas por Moreira (2012) como mais importante componente do sistema hidráulico, são responsáveis pela transformação de energia mecânica em movimento hidráulico. Elas funcionam devido à diferença de pressão da camada de fluido e o vácuo criado dentro das próprias bombas, forçando a saída do fluido e gerando um fluxo. As bombas podem ser divididas em hidrodinâmicas e hidrostáticas.

As bombas hidrodinâmicas, exemplificada na Figura 5, operam por meio da força centrífuga. O fluido, assim que entra na bomba, é impulsionado para fora por um rotor em grande velocidade, dessa maneira, a pressão de saída do fluido está diretamente relacionada à velocidade do rotor presente na bomba.

Figura 5 – Bomba centrífuga



Fonte: o autor (2022).

Na Figura 6, podemos ver um exemplo de bomba hidrostática. Elas são bombas que fornecem volume constante de fluidos independente da resistência empregada a ela. Isso ocorre devido a vedação dos portais de entrada e saída do instrumento.

Figura 6 – Bomba hidrostática Rexroth



Fonte: Boschrexroth (2022).

### 3.2.3. Válvulas

As válvulas, extremamente importantes em instalações hidráulicas, são responsáveis pelo controle do fluxo vindo das tubulações, seja ele direcional ou quantitativo. Podem ser divididas em diversas funcionalidades, tais como controle de pressão, vazão, direcional e de bloqueio. No caso deste projeto a válvula de bloqueio detém maior atenção.

As válvulas de bloqueio são reguladoras, e têm como função bloquear ou liberar o fluxo em um circuito. Na Figura 7, destaca-se a solenoide, que se trata de uma válvula eletromecânica controlada por uma bobina. Ela funciona de maneira que, ao ter uma corrente elétrica aplicada sobre ela, a bobina aciona o êmbolo da válvula, podendo abrir ou fechar, de acordo com o sinal.

Figura 7 – Válvula solenoide



Fonte: o autor (2022).

### 3.3. Transmissores

Os transmissores são instrumentos utilizados para enviar sinais de estado de um sistema. Eles são responsáveis por converter determinado sinal eletromagnético em algo

que possa ser transmitido para diferentes lugares. Normalmente essa tradução de sinal é feita pela variação de tensão ou corrente.

Em se tratando de hidráulica, onde são controladas variáveis como nível e vazão e utilizados testes como o de estanqueidade, os transmissores de pressão se tornam ferramentas básicas de aplicação (IBARRA, 2014).

### 3.3.1. Transmissores de Pressão

Os transmissores de pressão são ferramentas incumbidas de detectar o nível de pressão exercida por determinada camada de gás ou líquido. Dessa maneira - e levando em consideração as necessidades, o ambiente e condições de operação de sistemas variados - esses transmissores podem ser catalogados de maneiras variadas, sendo elas pneumáticas e analógicas.

Dentre as duas formas citadas, a que detém maior uso em se tratando de sistemas automáticos industriais é a analógica. Segundo Viana (1999) elas podem ser representadas por:

- *Strain Gauge*: neste sensor, vide Figura 8, ocorre a medição da deformação sofrida na seção transversal – seja por tração ou compressão – de fitas extensiométricas metálicas. Elas são compostas de metais com baixo coeficiente de temperatura, a fim de que se possa representar uma maior variação de tensão e corrente.

Figura 8 – Transmissor de pressão com *strain gauge*



Fonte: HBM (2022).

- Piezoelétrico: para estes, exemplificados na Figura 9, são usados materiais piezoelétricos. Esses materiais são do tipo que, quando sofrem estresse

mecânico, produzem carga elétrica. Dessa maneira, é possível criar uma relação direta entre a pressão sofrida e a carga elétrica gerada.

Figura 9 – Sensor piezoelétrico



Fonte: HBM (2022).

- Capacitivo: Já neste caso, como representado na Figura 10, o instrumento parte do funcionamento de placas paralelas. Estas são espaçadas, ou aproximadas, de acordo com a força exercida sob o diafragma presente, que por sua vez, se expande ou se retrai. Isso faz com que o fluido dielétrico presente entre as placas aumente ou diminua a capacitância e, por consequente, o sinal de saída do instrumento.

Figura 10 – Transmissor de pressão capacitivo



Fonte: Zurich (2022).

### 3.4. Controladores Lógicos Programáveis

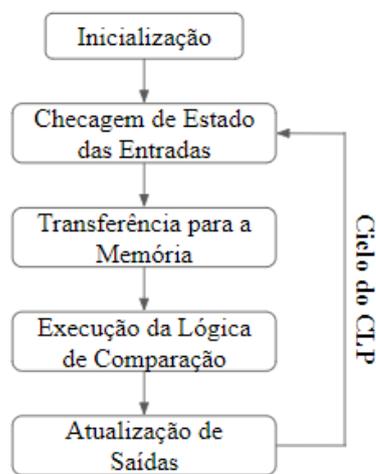
O Controlador Lógico Programável, ou CLP, surgiu em meados dos anos 60, decorrente da necessidade de substituir um processo que era composto basicamente de relés eletromecânicos e gerava grande custo financeiro e temporal para manutenção, já que se

tratavam de ambientes com fios, segmentos e dispositivos em abundância (CAPELLI, 2011).

Os CLP's, hoje amplamente difundidos no setor industrial, são responsáveis pela fluidez dos processos, podendo lidar com diversos segmentos controláveis. Nestes controles usualmente constam sensores e atuadores passíveis de leituras de entrada e saída tanto analógicas quanto digitais (VALÉRIO, 2015).

Sendo assim, o funcionamento do controlador pode ser explicado, de forma simplificada, pela Figura 11:

Figura 11 – Diagrama de Blocos CLP



Fonte: O autor (2022).

Dessa forma, o funcionamento se desenvolve de maneira que, quando ligado, o CLP realiza um ciclo de varredura, conferindo os módulos de entrada e saída, estado da memória, dentre outras variáveis, fazendo a inicialização do equipamento. Após isso, ele analisa o estado das entradas e saídas e armazena na memória o que foi recolhido.

Em consequência, o conteúdo armazenado é comparado ao código do usuário e têm as saídas alteradas de acordo com o que foi programado. Tudo isso acontece de maneira cíclica, até que a lógica tenha sua parada forçada externamente ou por um trecho de código.

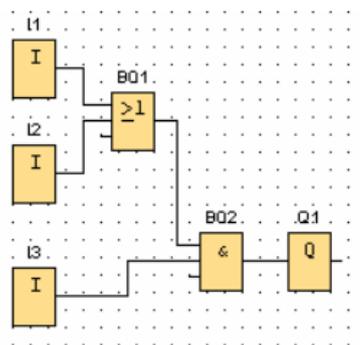
Como o CLP é um assunto amplamente debatido em diversas literaturas, o tema não será extensivamente tratado neste trabalho. Porém, para análise e curiosidade do leitor, fica a sugestão dos seguintes títulos: Controladores Lógicos Programáveis (DA SILVA, 2006), Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos (FRANCHI; CAMARGO, 2008) e Oficina de introdução a controladores lógicos programáveis (CLP) – teoria básica, noções de programação e operação (ANTUNES; BOGO, 2018).

### 3.4.1. Linguagem de Blocos

O diagrama de funções de blocos representado na Figura 12, também chamados de FBD (*Function Block Diagram*), é uma linguagem predominantemente gráfica utilizada para programação de CLP's e é composta por blocos de funções. Nestes blocos, semelhante aos circuitos digitais, são usadas portas lógicas, circuitos pré-programados (contadores, temporizadores, booleanos, etc.), além da possibilidade de criação dos próprios encapsulamentos (ROSSI, 2008).

Apesar de não ser a linguagem mais difundida, assim como é o *Ladder*, o FBD se destaca pela fácil padronização, visualização e simplicidade. Entretanto, pode ser uma linguagem de difícil organização em casos de lógicas mais robustas.

Figura 12 – Linguagem FBD



Fonte: Rossi (2008).

A lógica representada na Figura 12 funciona de maneira que a saída Q1 só é acionada quando i3 for acionado junto à i2 e ou i1.

### 3.5. Interfaces

O surgimento das interfaces gráficas se deu em uma época onde Bill Gates e Steve Jobs competiam no quesito inovações em suas máquinas. Em 1976, como resposta ao sucesso do computador Altair, Jobs lançou o Apple I, considerado o primeiro computador pessoal justamente pela presença de um monitor gráfico. Nele eram demonstrados os processos executados na máquina (GUGIK, 2009).

Mesmo que já houvessem interfaces no mercado, elas foram inseridas no setor industrial apenas após a evolução dos computadores e componentes eletrônicos. Só havia sentido a inserção de uma interface gráfica à uma planta caso ela pudesse acompanhar o

trabalho feito pelos controladores. Após essa possibilidade, as interfaces surgiram na indústria como tradutoras de processo. Dessa maneira, elas ficaram responsáveis por transpor para o operador com toda a engenharia por trás de uma planta, facilitando assim, a manipulação e compreensão do processo.

### 3.5.1. Interface Homem-Máquina

Uma IHM (Interface Homem-Máquina) possibilita a interação entre o ser humano e um mecanismo ativo. E assim como a maioria dos instrumentos em âmbito fabril, variam de acordo com a necessidade local. Pode-se implicar que o uso desse tipo de interface resume-se à: ações do usuário e respostas do sistema (CAVALLIN, 2015).

Elas podem conter diversas formas, se apresentar em telas de várias polegadas ou em *smartphones*, serem controladas por *touchscreen*, apresentar *design* realista e até operarem em conjunto a inteligências artificiais. Tudo para que a experiência do operador junto à tela seja a mais funcional possível (YGOR; JOÃO, 2011). A Figura 13 nos dá o exemplo de uma interface Siemens.

Ainda segundo Ygor e João (2011), o processo de entrada, ou ações do usuário, do IHM é composto de comandos onde o operador diz ao sistema o que fazer pelo dispositivo de entrada disponível (teclado, *mouse*, toque, dentre outros). Já o processo de saída, executado pela máquina, trata-se da atualização da execução física dos comandos, contendo, dessa maneira, o estado atual do sistema.

Sendo assim, a utilização dessas interfaces para retorno constante de estado faz-se primordial em ambientes cuja falha de um processo pode gerar perdas substanciais.

Figura 13 – IHM Siemens



Fonte: Siemens (2022).

### 3.5.2. Uso de Interfaces na Indústria

As plataformas de interação, quando aplicadas na engenharia, visam facilitar o controle de determinado processo sem necessidade de parada. Dentre as diversas funções desempenhadas, cabem citar:

- Monitoramento de alarmes: diversos sistemas lidam com parâmetros máximos e mínimos de operação, nestes casos, a visualização de estado crítico facilita a tomada rápida de decisões.
- Monitoramento de dados: em processos que os valores de produção ou funcionamento de equipamentos têm alteração constante a visualização possibilita maior controle do processo por parte do operador.
- Alteração de parâmetros: assim como no caso de monitoramento, a alteração dos valores produtivos e ou de funcionamento de instrumentos proporciona maior controle da planta, mesmo que à distância.
- Acionamentos: alguns sistemas demandam acionamentos esporádicos de válvulas, motores, bombas, dentre outros. As interfaces possibilitam que isso seja feito sem necessidade de deslocamento até o equipamento.

Em sua proposta de controle de perdas de um sistema de abastecimento de água do município de Poços de Caldas/MG, por exemplo, Oliveira (2009) propõe a supervisão das variáveis envolvidas em seu processo, tais como vazão, nível, corrente, temperatura, estado da bomba, falta de fase e condição das boias, em uma IHM.

Oliveira (2009) ainda dispôs a IHM de forma que ficassem visíveis os instrumentos cuja supervisão era necessária, podendo dessa forma, fazer a ativação ou desativação da motobomba manual ou automaticamente caso necessário. Ainda neste projeto, por lidar com diversos sensores, Oliveira sugeriu uma interface adicional, para que fosse possível monitorar os sensores simultaneamente ao sistema, mostrando quão necessário é entender as demandas do processo supervisionado.

### 3.6. Redes de computadores

As redes de computadores, surgidas por volta dos anos 70, são, hoje, imprescindíveis em um mundo onde os ambientes, sejam eles econômicos ou sociais, são cercados de dispositivos eletrônicos. Em um cenário em que eletrodomésticos comunicam entre si e podem ser acionados remotamente, entender a complexidade das redes neles

presentes demandaria um estudo à parte. Entretanto, segundo Comer (2016), o básico do funcionamento de qualquer rede se estende à:

- Aplicações e programação de redes: parte do princípio que um programa aplicativo em um computador se comunica a outro programa em outro computador por meio da rede. Dessa forma, quanto mais aplicações a rede abranger maior a facilidade de comunicação entre as máquinas;
- Comunicação de dados: se baseia na forma como a troca de informações é feita a baixo nível (fios, ondas, feixes de luz, etc.). A maneira como é feita a comunicação muda as propriedades da rede, tais quais velocidade, confiabilidade, robustez e outras;
- Comutação de pacotes e tecnologias de redes: forma como os dados são divididos e identificados ao serem enviados a outro computador. De acordo com a necessidade da rede (velocidade, distância e custo) a comutação de pacotes desenvolve-se de maneira diferente;
- Funcionamento de redes com TCP/IP: consiste na adesão à família de protocolos de internet TCP/IP, capazes de virtualizar pacotes diferentes de redes diferentes, possibilitando assim, a comunicação de diferentes âmbitos;
- Ainda devem ser levados em conta conceitos que envolvem as tecnologias e possibilidades envolvidas, por exemplo, a inserção da internet das coisas e inteligências artificiais em uma rede.

Em nosso cotidiano utilizamos redes que funcionam de maneiras distintas, alguns exemplos são: *Bluetooth*, *Wi-fi*, radiofrequência, ADSL (televisão), ethernet, dentre outras. Dessa forma, podemos entender que a compreensão de redes vai de acordo com individualidade e funcionalidade de cada uma delas.

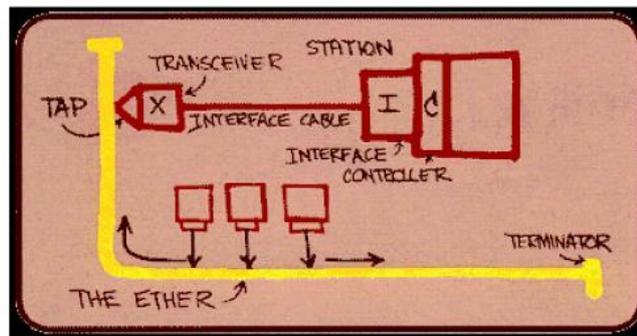
### **3.6.1. Rede Ethernet**

As redes ethernet, representadas na Figura 14, surgiram em 1973 em um projeto apresentado pelo estadunidense Robert Metcalfe à empresa Xerox Palo alto, e são hoje o maior padrão de comunicação em rede de dados do mundo. O conceito de funcionamento vem do princípio CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), que se baseia no envio de dados com tratamento de colisão de pacotes (VENTURELLI, 2021).

Dessa maneira, se um pacote contendo X dados é enviado em um canal livre ele terá sua passagem permitida. Entretanto, se já houver outro pacote contendo Y dados sendo transmitido o pacote X é colocado em espera até que o processo termine. Para que se possa ter certeza da saída e chegada de pacotes a mensagem de retorno da rede é pautada no tempo programado de entrega dos dados.

Levando em consideração que em uma rede ocorre a transmissão de inúmeros pacotes simultâneos utiliza-se o *Switch*. Ele é responsável pela distribuição e gerenciamento de informações na rede ethernet. Dessa forma é possível automatizar, localizar física e logicamente, identificar e priorizar pacotes, tratar erros e gerenciar tempo em uma determinada rede (VENTURELLI, 2021).

Figura 14 – Desenho original rede ethernet



Fonte: UFRPE (2022).

### 3.6.2. Protocolos

Ainda de acordo com Venturelli (2021), o protocolo aplicado em uma rede ethernet define como acontece a troca de informações. Ele define o padrão de linguagem, sintaxe, semântica e sincronização de dados. No contexto industrial, podemos ressaltar:

- TCP/IP: comunicação em rede pelo protocolo de controle de transmissão junto ao protocolo de internet;
- Modbus/TCP: comunicação cliente-servidor, aplicada junto ao controle de transmissão em CSMA-CD;
- RS485: protocolo de transmissão de dados, utiliza cabeamento duplo para transmissão e cópia de sinal.

- PROFINET: protocolo de comunicação padronizado pelas normas IEC 61158-5 e IEC 61158-6;
- Ethernet/IP: protocolo onde os dados da rede são gerenciados em múltiplos locais. Nele a ethernet é combinada com a função de protocolo comum industrial e é gerido pela ODVA (*Open DeviceNet Vendors Association*).

No geral, todos os protocolos possuem seus prós e contras, podendo até funcionar juntos em uma determinada arquitetura. Em 2021, por exemplo, foi proposto por Borges, em um projeto de monitoramento da rede de abastecimento de água da Ilha de Santiago – Cabo Verde, o uso misto de Ethernet, RS485 e Profinet como protocolos de comunicação dos equipamentos envolvidos. Neste projeto a transmissão de dados entre o CLP principal e os instrumentos era realizado por meio da RS485, a comunicação com o IHM por Ethernet e com o outro CLP da rede por Profinet. Ainda possibilitando a comunicação por nuvem na junção dos subsistemas.

Dessa forma, vê-se necessário entender as demandas tanto do processo, quanto do projeto, ao se definir a forma de comunicação do sistema.

### 3.6.3. Protocolo Ethernet

O protocolo de comunicação Ethernet é a base de construção de grande parte das redes locais (LANs), e geralmente é responsável pela comunicação entre máquinas pouco distantes entre si. Para sua execução física, além das máquinas e dispositivos com acesso à rede, são utilizados cabos, conectores, roteadores, *Hubs* ou *Switches*, dentre outros instrumentos. Todos escolhidos de acordo com a velocidade e distância de trabalho da rede.

Assim como exemplificado por Souza (2006) em sua proposta de um sistema de gestão da automação de um processo de tratamento de água, em processos onde há um grande fluxo de informações o protocolo Ethernet mostra-se como uma ferramenta eficiente para monitoramento e controle de variáveis, visto que a transmissão cabeada pode operar em rápida transmissão.

Dessa maneira, mesmo que o protocolo tenha problemas com a não possibilidade de calcular o tempo exato de transmissão dos dados, é possível garantir o fluxo rápido de informações com a segmentação da rede, em *switches* por exemplo, e com a operação em altas velocidades. A rede, de modo geral, pode ser desenvolvida em TCP/IP ou Ethernet/IP, mudando, apenas, o protocolo de controle de acesso da rede (SOUZA, 2006).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico será decorrido sobre a maneira de execução do projeto buscando a realização dos objetivos pré-dispostos. São descritos os instrumentos e a forma com que foram empregados no esquema proposto.

### 4.1. O Projeto

O surgimento do projeto se deu por diversos motivos: dificuldade de detecção de problemas, desperdício de água por transbordo, parada de produção, risco de acidentes com animais peçonhentos, épocas chuvosas e períodos noturnos. A grande maioria causada pela distância e complexidade de acesso aos ambientes do sistema, vide Figura 15.

Figura 15 – Localização dos ambientes



Fonte: Adaptado do arquivo da empresa (2022).

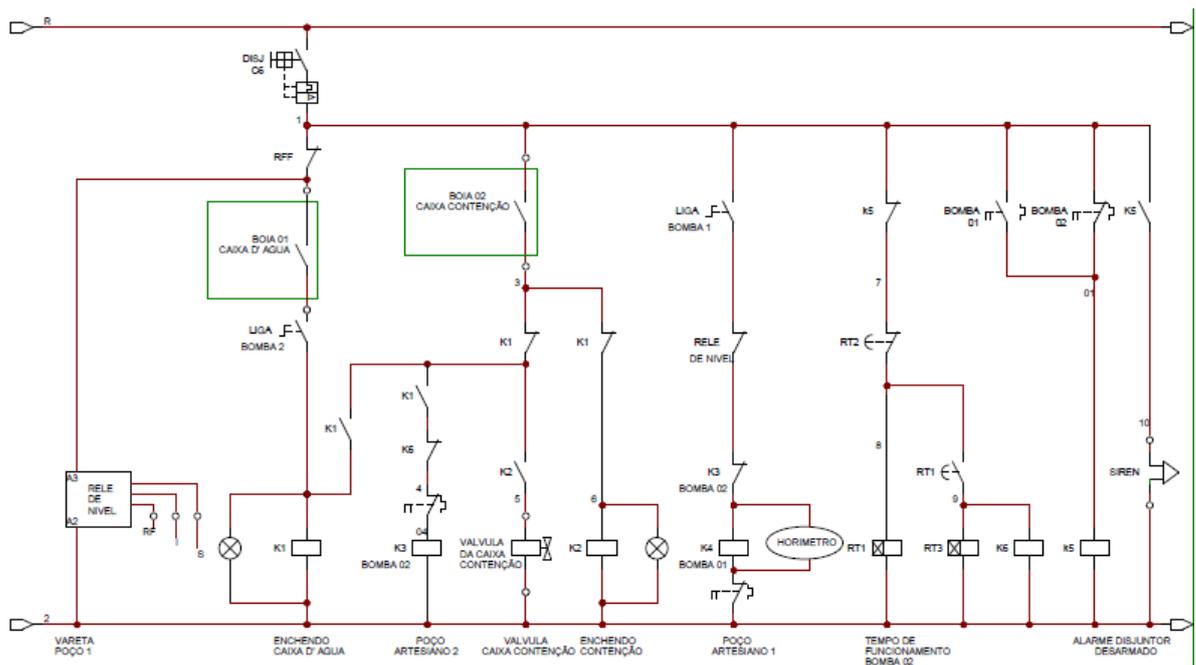
Diante do demonstrado, o projeto se fundamentava em desenvolver um sistema onde se pudesse controlar os fluxos de saída dos poços artesianos para a caixa principal, e posteriormente, o fluxo de entrada das caixas adjacentes. Além disso, previa a instalação de uma interface homem-máquina na oficina de manutenção industrial para que fosse possível monitorar o nível da caixa d'água principal.

No sistema anterior, segundo mostra a Figura 16, o controle de vazão era feito por acionamento de comandos e sua lógica se desenvolvia da seguinte maneira:

- Quando a botoeira LIGA BOMBA 2 é acionada e a boia da caixa d'água fecha o contato (nível baixo) K1 é acionado;
- K1 acionado, são fechados os contatos normal-abertos e a bomba 2 (K3) é acionada retirando a água do poço artesiano 2.

- Ao encher a caixa d'água K1 é desativado voltando a fechar os contatos normal-fechados.
- Os contatos K1 normal fechados possibilitam o tratamento da boia 2, referente à caixa de contenção (reservatório);
- Com a boia 2 nível baixo, ocorre o acionamento de K2 que habilita a válvula presente neste reservatório;
- A válvula é responsável pelo enchimento do reservatório;
- O acionamento da bomba 1 (K4) referente ao poço 1 ocorre ao pressionar a botoeira LIGA BOMBA 1 junto à condição do relé de nível instalado no poço e junto à bomba 2 (K3) desligada;
- O relé de nível faz o travamento caso o poço 1 esteja vazio;
- Ainda ocorre o tratamento de tempo de funcionamento, dadas as condições estabelecidas pela outorga;
- A temporização alterna o funcionamento das bombas a cada 30 minutos;
- K6 acionado na troca de bombeamento, e evita, também, o funcionamento conjunto dos poços;
- Caso o relé de sobrecarga do poço 2 seja ativado ou ambos os poços funcionem em conjunto K5 é acionado;
- K5 abre a linha dos temporizadores e aciona o alarme.

Figura 16 – Circuito de comando anterior



Fonte: arquivo da empresa (2022).

É importante ressaltar que, neste circuito estavam envolvidos setores e ambientes que não serão utilizados neste projeto e tiveram outras finalidades.

#### 4.2. Diagrama P&ID

Utilizando como base a estrutura demonstrada pela Figura 15, e nos princípios de sistemas hidráulicos industriais referidos anteriormente, foi desenvolvido um diagrama P&Id. Nele, foram representados todos os instrumentos necessários para que o fluxo do processo, além de inalterado, pudesse ser controlado.

Para a criação do diagrama representado na Figura 17 partiu-se do circuito de alimentação da caixa d'água principal e seguiu o seguinte raciocínio:

- A caixa principal (A) tem seu nível medido pelo transmissor de pressão (E).
- Os dados retirados do transmissor são tratados no controlador de campo (F).
- O CLP (G) lê os valores saídos do controlador e regula o nível da caixa principal pelas bombas verticais (C) presentes nos poços artesianos (B).
- O CLP monitora o status das bombas centrífugas (D) por meio dos inversores de frequência (H).

Partindo para as caixas d'água secundárias a lógica foi a seguinte:

- As caixas de água secundárias (K) têm seu nível medido pelos transmissores de pressão (E).
- Os dados retirados dos transmissores são tratados nos controladores de campo (F).
- Os CLP's (G) dedicados às caixas controlam o nível pelo acionamento das válvulas solenoides (J).

A comunicação, por sua vez, é feita de maneira que:

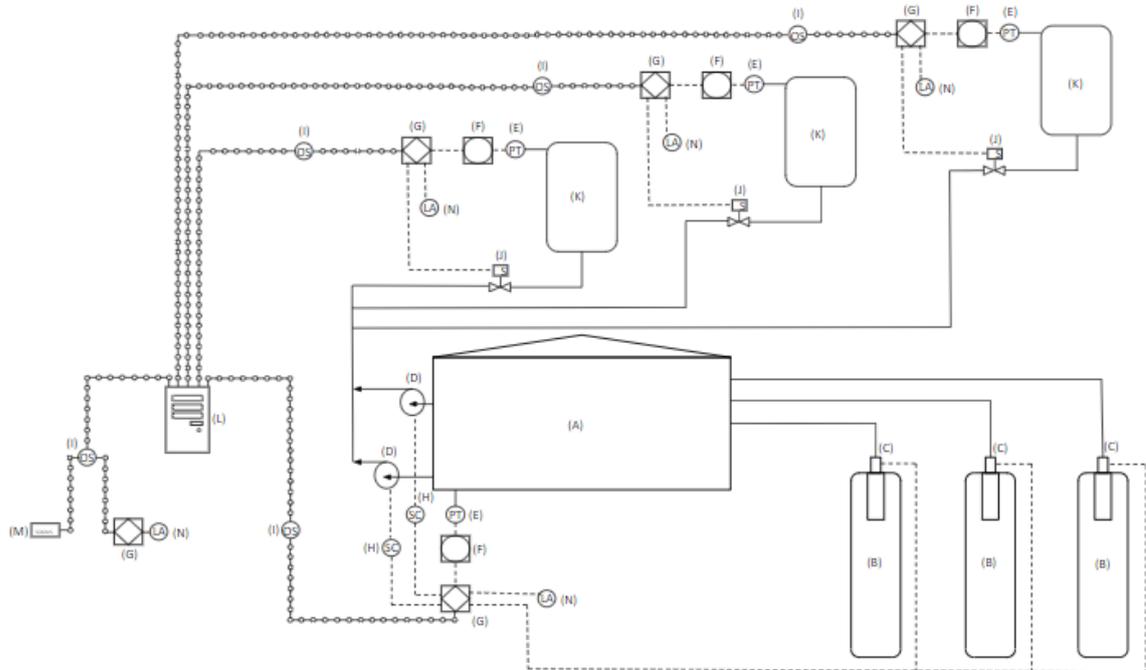
- Os CLP's (G) presentes no projeto se comunicam com os *switches* (I) via *ethernet* por cabos de rede.
- E os *switches* levam e recebem as informações ao servidor central (L), também via *ethernet*.

E por fim o monitoramento:

- O IHM (M) e o CLP (G) presentes na oficina recebem dados síncronos vindos do *switch* (I).

- E o CLP instalado junto ao IHM aciona o alarme (N) caso necessário.

Figura 17 – Diagrama P&Id do projeto



Fonte: o autor (2022).

Na Tabela 2 estão descritos os componentes do diagrama:

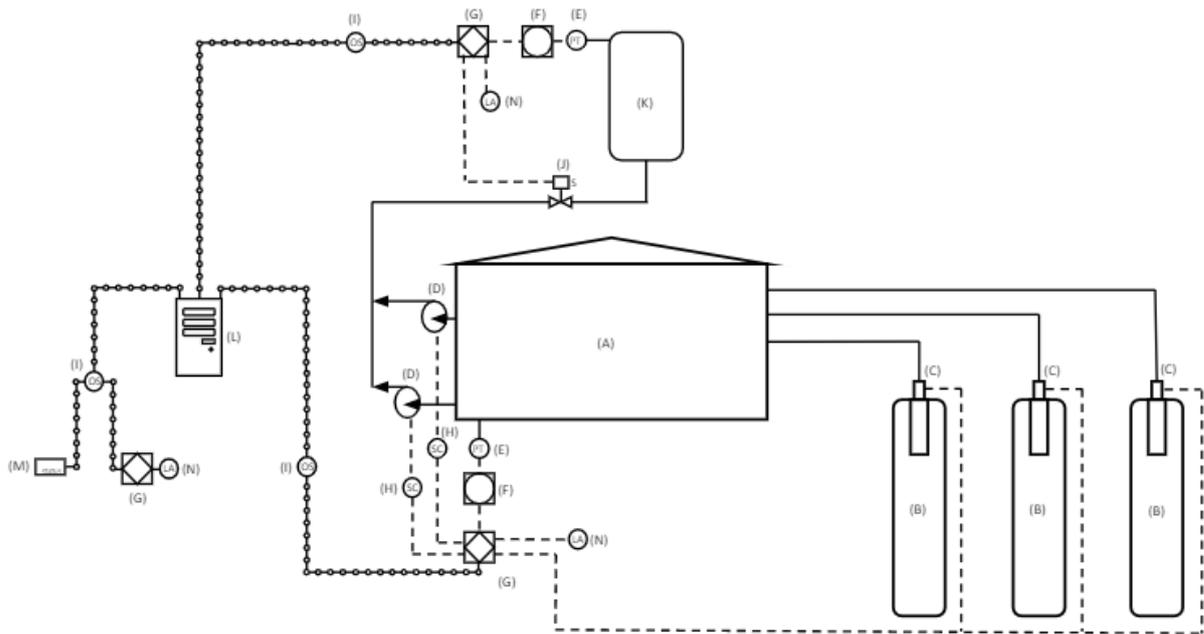
Tabela 2 – Componentes diagrama P&Id

COMPONENTE	REPRESENTAÇÃO	COMPONENTE	REPRESENTAÇÃO
A	RESERVATÓRIO PRINCIPAL	J	VÁLVULA SOLENOIDE
B	POÇO ARTESIANO	K	CAIXA DE ÁGUA
C	BOMBA VERTICAL	L	SERVIDOR
D	BOMBA CENTRÍFUGA	M	IHM
E	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	N	ALARME DE NÍVEL
F	CONTROLADOR	LINHA CONTÍNUA	CONEXÃO DO PROCESSO
G	CLP	LINHA TRACEJADA	SINAL ELÉTRICO
H	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	LINHA COM CÍRCULOS	REDE INTERNA
I	SWITCH DE REDE		

Fonte: o autor (2022).

Levando em conta uma proposta mais palpável, foi desenvolvido o projeto para apenas um caixa secundária. Tornando, assim, possível a replicação nas outras caixas quando necessário. Dessa maneira, mantendo os instrumentos e lógicas demonstradas acima, o diagrama P&Id real do projeto desenvolvido é mostrado conforme Figura 18.

Figura 18 – Diagrama P&Id adaptado



Fonte: o autor (2022).

### 4.3. Materiais

Utilizando como base o diagrama representado pela Figura 18 e os padrões instrumentais usados pela empresa, foi possível fazer um descritivo dos itens utilizados para o projeto, assim como mostra a Tabela 3:

Tabela 3 – Descritivo de materiais

Material	Quantidade
Bomba Vertical Submersa R20a-09 9 Cv Trifásica 380v	1
Bomba Vertical Submersa R20a-09 15 Cv Trifásica 380v	2

Transmissor De Pressão RÜCKEN 4-20mA 0-1bar RTP-420	2
Controlador Universal NOVUS N1100	2
Controlador CLP LOGO! 115/230 VCA Siemens	3
Bomba Centrífuga 25CV 29 WEG	2
Inversor de Frequência WEG CFW11	1
Inversor de Frequência WEG CFW700	1
Válvula Solenoide Parker Ar E Óleo 220v	1
IHM Siemens SIMATIC HMI KTP400	1
Sirene Eletrônica 6 Tons 2v 112db	3

Fonte: o autor (2022).

Dessa maneira, foi possível fazer com que uma grande parte dos itens fosse reaproveitada do circuito de acionamento utilizado anteriormente. Na Tabela 4 são citados apenas os instrumentos adicionados ao sistema:

Tabela 4 – Descritivo de materiais novos

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
Transmissor De Pressão RÜCKEN 4-20mA 0-1bar RTP-420	2
Controlador Universal NOVUS N1100	2
Controlador CLP LOGO! 115/230 VCA Siemens	3
Válvula Solenoide Parker Ar E Óleo 220v	1
IHM Siemens SIMATIC HMI KTP400	1
Sirene Eletrônica 6 Tons 2v 112db	3

Fonte: O autor (2022).

Dos instrumentos apresentados é importante ressaltar que, a utilização de dois controladores para dados iguais é prática da empresa. Sendo assim, o controlador NOVUS é aplicado para tratamento e monitoramento de dados em campo e o CLP utilizado para tratamento lógico dos dados. Na Figura 19 podemos ver o controlador secundário indicando o nível de água do tanque principal.

Figura 19 – Controlador NOVUS Caixa Principal



Fonte: o autor (2022).

Além disso, os *switches*, mesmo que representados no diagrama P&Id, fazem parte das áreas da empresa. Dessa forma, é necessário para o projeto apenas o cabeamento dos painéis até eles. Na Figura 20 podemos visualizar o *switch* da área mais próxima aos poços artesanais. Nota-se que ainda restam diversas entradas, que são deixadas propositalmente para projetos futuros.

Ainda na Figura 20, é mostrado o *nobreak*, dispositivo que utiliza de uma bateria interna para proteção do instrumento em casos de variação ou queda de energia.

Figura 20 – Switch de área

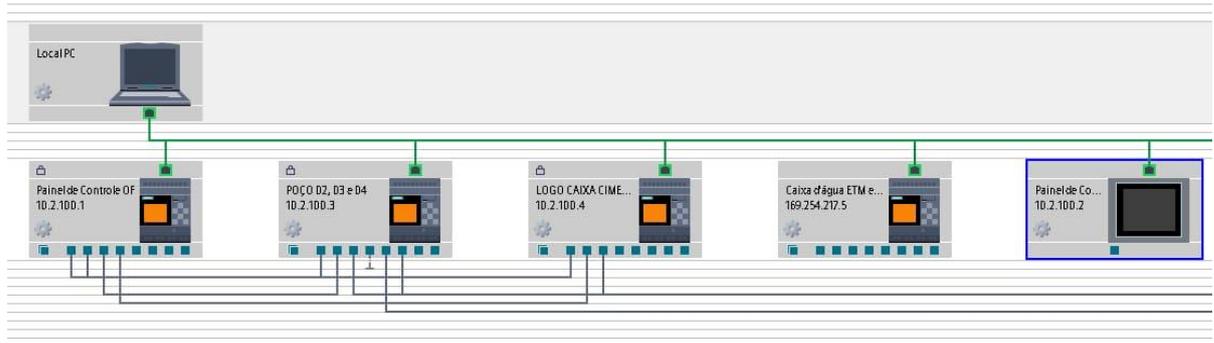


Fonte: o autor (2022).

#### 4.4. Lógica de Funcionamento

Para que fosse possível a comunicação entre os CLP's e a IHM através da rede foi estabelecido no *software* LOGO! SOFT COMFORT o diagrama de conexões dos instrumentos relacionados, vide Figura 21.

Figura 21 – Conexão de rede do projeto



Fonte: o autor (2022).

Como pode ser observado na figura 21, os dispositivos foram referenciados pelo IP, podendo assim ser identificado em qual *switch* e qual porta estão localizados.

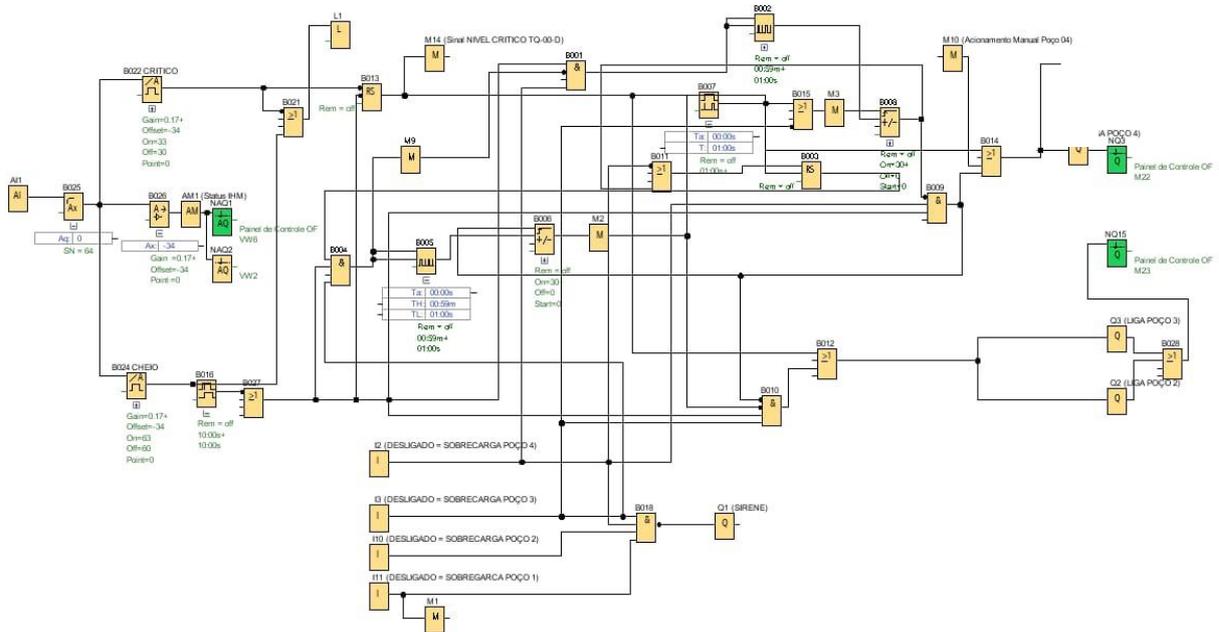
Para funcionamento lógico da rede, apesar da presença de um computador local como mestre, o CLP presente na oficina, definido como “Painel de Controle OF”, trabalha como dominante, e os outros aparelhos são utilizados para acionamento e monitoramento, como será demonstrado a seguir.

Vale ressaltar ainda que, apesar de presente na rede, o CLP denominado como “Caixa d’água ETM e ...” não está sendo utilizado no projeto e se refere às outras duas caixas d’água representadas na Figura 17.

##### 4.4.1. Lógica CLP Caixa Principal

A lógica de abastecimento da caixa principal foi desenvolvida em FBD e leva em conta os tempos de outorga expostos na Tabela 1. Portanto, o código lógico, representado pela Figura 22, apresenta-se mais extenso e complexo que os outros.

Figura 22 – FBD abastecimento caixa principal



Fonte: o autor (2022).

Em resumo do que foi feito, o funcionamento dessa lógica desenvolve-se da seguinte maneira:

- O transmissor de pressão realiza a medida e o sinal analógico é convertido por um bloco da biblioteca do CLP.
- As bombas dos três poços são acionadas simultaneamente até que se atinja 50% do volume do reservatório principal;
- Após alcançar metade de sua capacidade, as bombas dos poços revezam seu funcionamento a cada 30 min;
- O funcionamento das bombas dos poços ocorre com vazão máxima, e tem um tratamento lógico para nunca ultrapassar 12 horas diárias;
- Os status dos poços, da caixa principal e do funcionamento das bombas são guardados em memórias;
- Em casos emergenciais ou de sobrecargas a sirene local é acionada.

As variáveis do CLP referenciado foram divididas conforme mostra Figura 23:

Figura 23 – Declaração de variáveis

Input terminals	Name	Output terminals	Name
02	DESUSADO + SOBREC...	01	SIRENE
03	DESUSADO + SOBREC...	02	LIGA POÇO 2
04	DESUSADO + SOBREC...	03	LIGA POÇO 3
05	SOBRECARGA BO-00-O	04	LIGA POÇO 4
06	SOBRECARGA BO-00-N	05	
07	BO-00-O USADA	06	
08	BO-00-N USADA	07	
09	NIVEL BAIXO CONTENG...	08	
10	DESUSADO + SOBREC...	09	
11	DESUSADO + SOBREC...	10	
12	STATUS POÇO DE USADO	11	
13		12	
14		13	
15		14	
16		15	
17		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	AQ1
		22	AO1

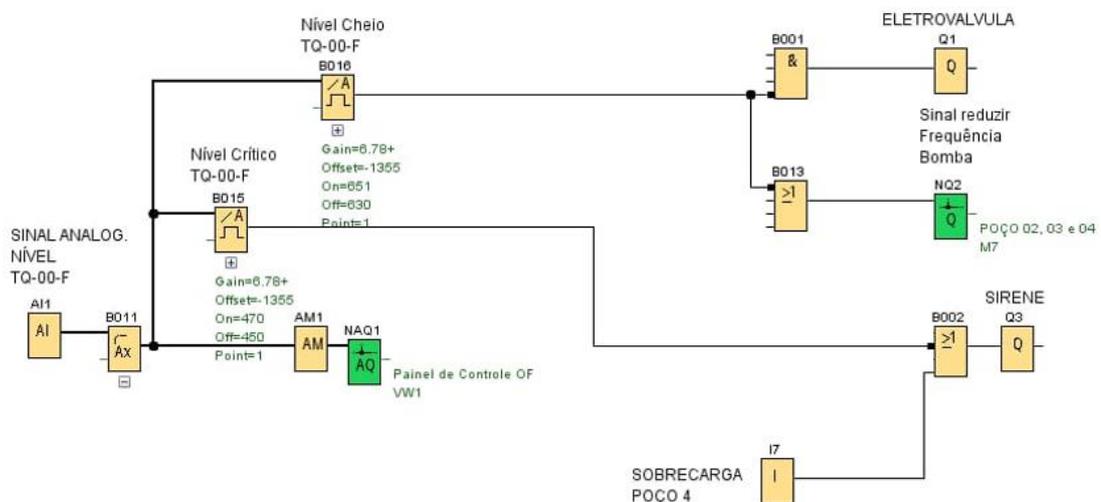
Fonte: o autor (2022).

Apesar de presente na declaração de variáveis o status do Poço 1 não foi utilizado no projeto.

#### 4.4.2. Lógica CLP Caixa Secundária

A lógica de funcionamento da caixa secundária, demonstrada na Figura 24, denominada pela empresa “Caixa Cimento”, também foi realizada por meio de FBD. Nela é apresentado o controle da válvula solenoide por meio do nível retornado.

Figura 24 – FBD abastecimento caixa secundária



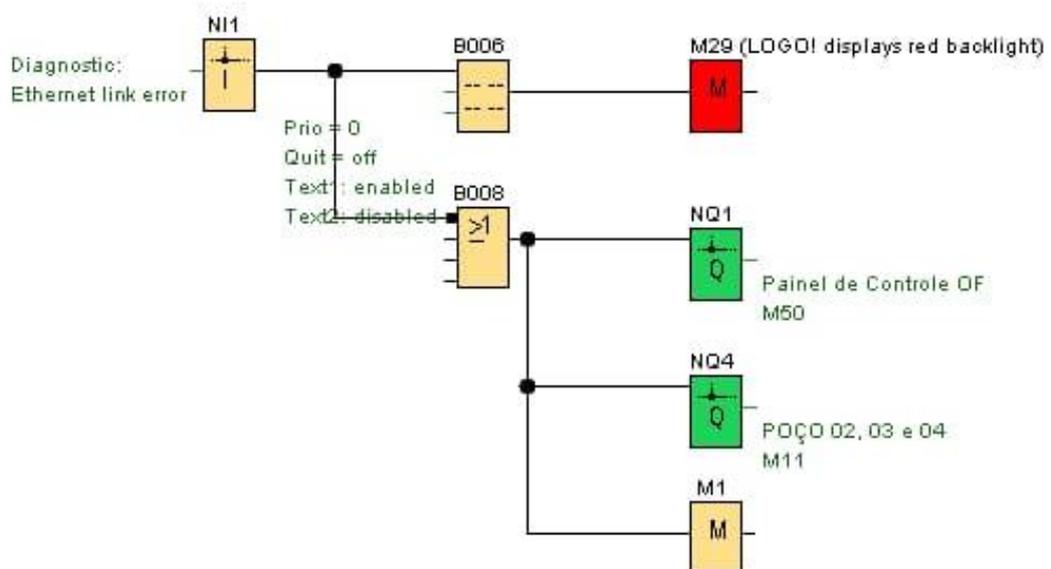
Fonte: o autor (2022).

Neste cenário, a lógica se desenvolve de tal forma que:

- O transmissor de pressão realiza a medida e o sinal analógico é convertido em um bloco da biblioteca do CLP.
- A eletroválvula presente mantém seu estado aberto até que o tanque atinja nível máximo;
- A eletroválvula fecha quando a caixa está cheia e é enviado um sinal de acionamento ao CLP para que reduza o abastecimento da caixa principal;
- Caso o tanque chegue a nível crítico (estoque de água insuficiente) a sirene local é acionada;
- Os status de nível caixa é guardado em memória;
- Devido à maior proximidade, em caso de sobrecarga do Poço 4 a sirene local também é acionada.

Neste CLP ainda é feito o tratamento de erro de conexão, conforme mostra a Figura 25:

Figura 25 – FBD tratamento de conexão



Fonte: o autor (2022).

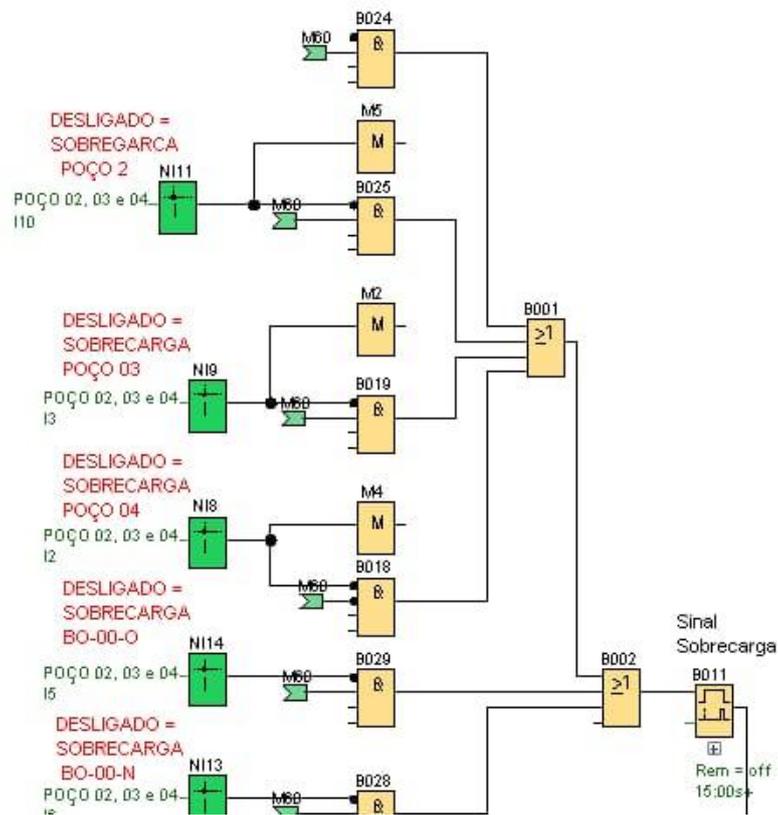
Em caso de falha de conexão o próprio CLP apresenta sinal luminoso vermelho e os outros dois CLP's da rede não recebem o *feedback* de funcionamento.

#### 4.4.3. Lógica CLP Oficina

O CLP da oficina, diferentemente dos outros dois, não possui como função principal o controle dos atuadores. Neste controlador são parametrizados os dados armazenados em memória pelos outros CLP's, sua lógica também foi desenvolvida em FBD e é voltada para monitoramento do sistema.

Assim como demonstrado na Figura 26, em uma de suas funções, o programa monitora o status atual e passado das bombas e poços para casos de sobrecarga.

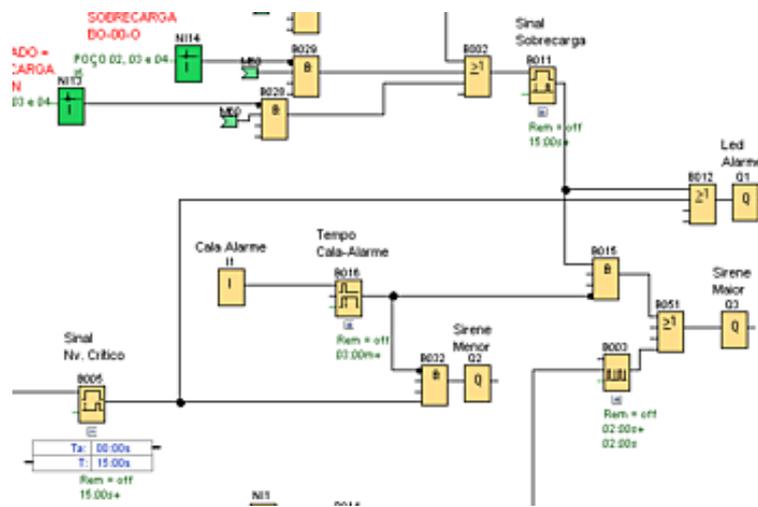
Figura 26 – FBD monitoramento de sobrecarga



Fonte: o autor (2022).

Caso alguma das variáveis dê retorno positivo o sistema aciona as sirenes e o led de alarme presente no CLP local. Nesta parte do código, visível na Figura 27, ainda são controlados os tempos de acionamento das sirenes locais e a continuidade do erro.

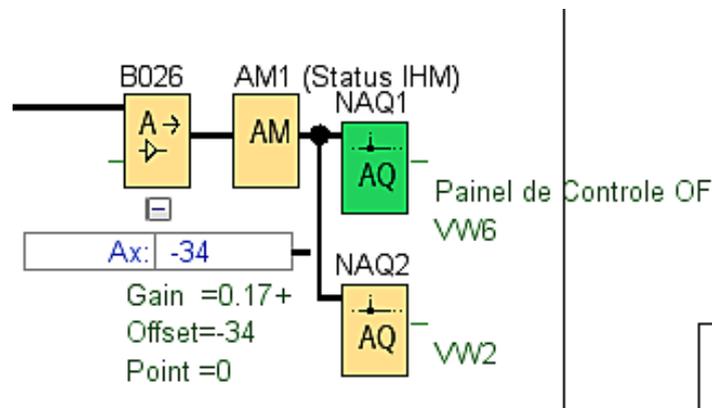
Figura 27 – FBD de alarme



Fonte: o autor (2022).

Em outro segmento do programa é tratada a alocação de dados locais em variáveis utilizadas no IHM, como pode ser visto na Figura 28.

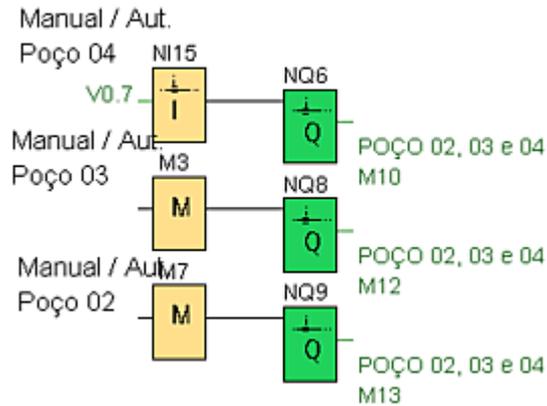
Figura 28 – FBD de dados para IHM



Fonte: o autor (2022).

Ainda na lógica presente, é possibilitada alterar a forma de acionamento das bombas, conforme Figura 29:

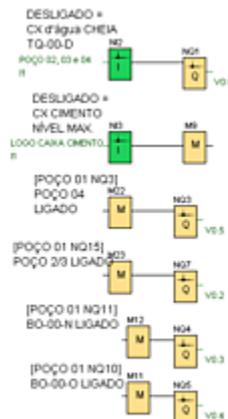
Figura 29 – FBD de troca de acionamento



Fonte: o autor (2022).

Toda a lógica de monitoramento realizada neste controlador é executada utilizando as gravações feitas nas memórias do LOGO!. Essas memórias são parametrizadas e modificadas pelos blocos representados pela letra “M”, como pode ser visto na Figura 30:

Figura 30 – FBD de memórias



Fonte: o autor (2022).

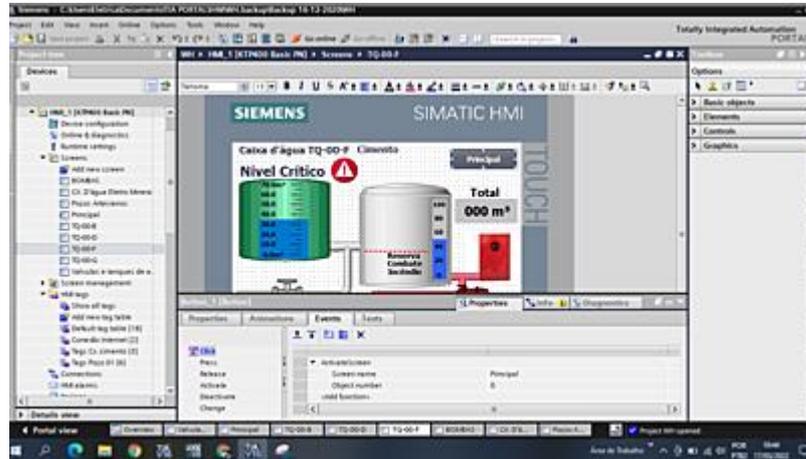
#### 4.5. Desenvolvimento IHM

A IHM, assim como o CLP da oficina, utiliza dos status alocados nas memórias para representação visual do sistema. Neste caso, foi escolhido para o projeto uma interface do mesmo fabricante dos controladores lógicos, facilitando assim a comunicação.

Os diagramas visuais foram desenvolvidos no *software* TIA PORTAL. Nele, buscou-se uma representação simples, mas fiel, que pudesse ser entendida por qualquer

pessoa. Foi colocado na interface apenas um botão, assim como exibido na Figura 31, que leva à tela principal.

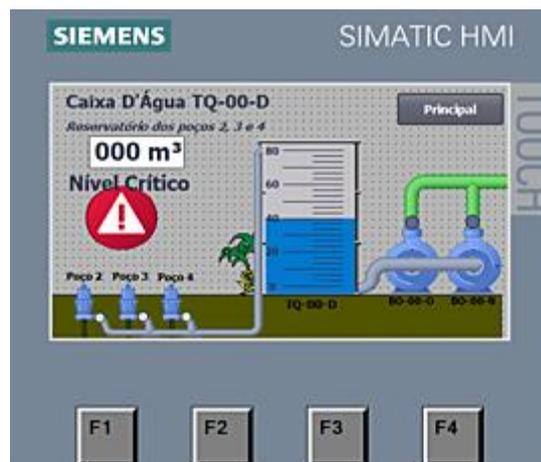
Figura 31 – Construção de botão IHM



Fonte: o autor (2022).

Foram desenvolvidas três diferentes telas: uma para caixa d'água principal, uma para os poços artesianos e uma para a caixa d'água secundária. A tela desenvolvida para caixa principal é representada na Figura 32. Nela contém os poços, as bombas e a caixa. Nela é possível a visualização constante de nível e, para casos críticos, um aviso.

Figura 32 – Tela IHM da caixa principal

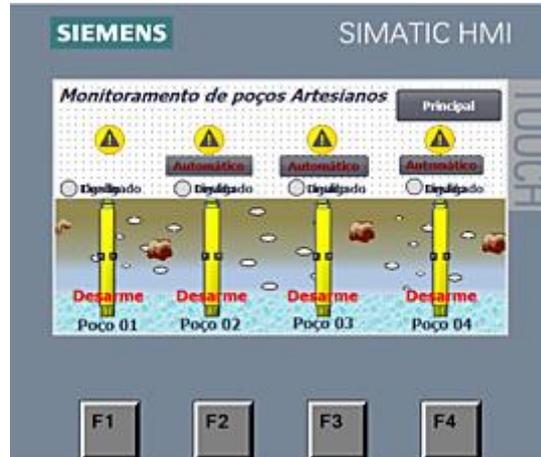


Fonte: o autor (2022).

A outra tela desenvolvida foi a dos poços artesianos. Na Figura 33 vemos que foram colocados os quatro poços presentes na empresa, porém, a demonstração acionamento

automático foi colocada apenas para os poços controlados neste projeto. Além disso, todos os poços contêm avisos de desarme e de status (ligado/desligado).

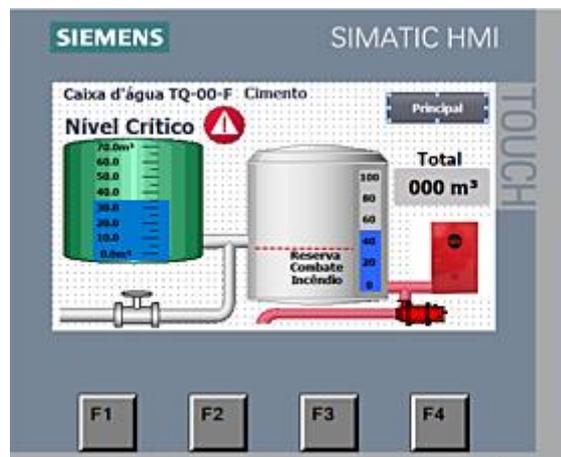
Figura 33 – Tela IHM poços artesianos



Fonte: o autor (2022).

Por último, foi desenvolvido uma tela para a caixa secundária. Como indicado na Figura 34, foram adicionadas graficamente as duas caixas e o desenho de um hidrante, pois sua reserva é destinada à brigada de incêndio da empresa. No painel ainda são demonstrados o volume da caixa e o alerta de nível crítico, para situações onde estiver abaixo de 30% de sua capacidade.

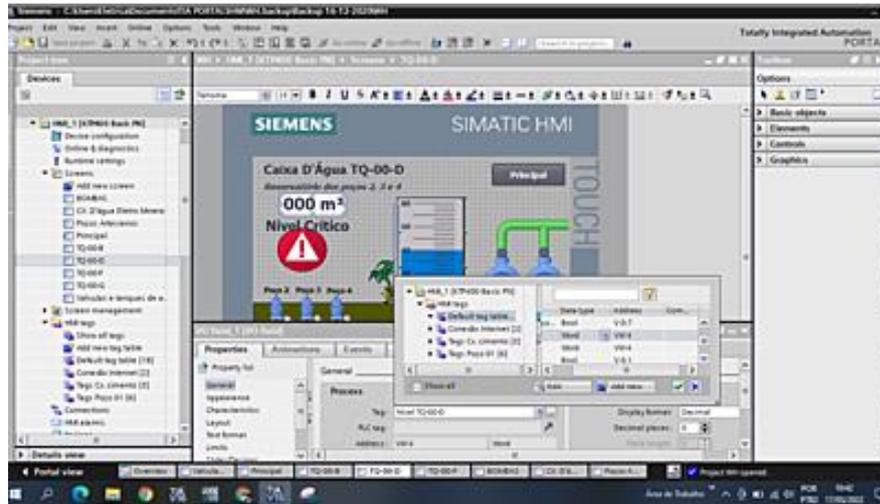
Figura 34 – Tela IHM caixa secundária



Fonte: o autor (2022).

Para que fosse possível fazer o monitoramento síncrono de nível, as variáveis referentes a ele foram atreladas ao IHM pelo uso das *tags* declaradas nos CLP's. Dessa maneira, foi possível conectar o campo desejado ao endereço direto da variável, como demonstrado na Figura 35.

Figura 35 – Parametrização de variáveis no IHM



Fonte: o autor (2022).

Por fim o painel com o IHM e alarme foi montado, vide Figura 36, e instalado na oficina, conforme mostra Figura 37.

Figura 36 – Painel de monitoramento



Fonte: o autor (2022).

Figura 37 – Painel de monitoramento instalado



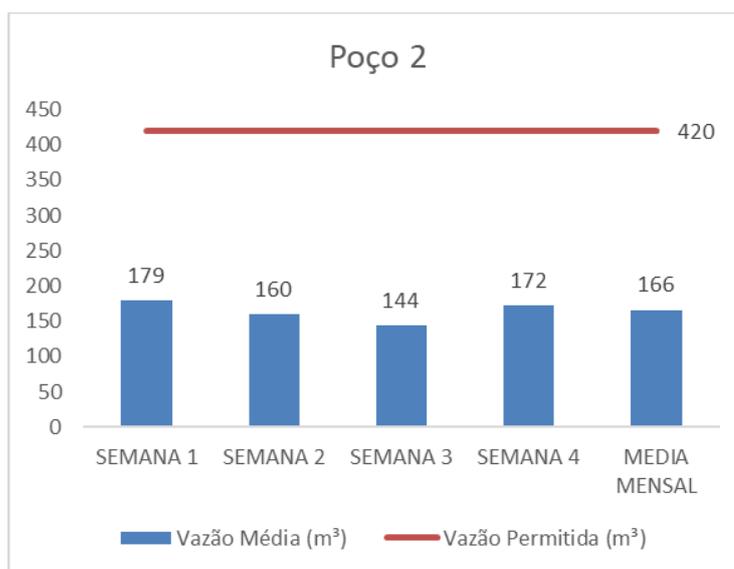
Fonte: o autor (2022).

## 5. RESULTADOS

Após aplicada a metodologia descrit, foram recolhidos os dados de captação, vazão e consumo dos poços 2, 3 e 4. O recolhimento dos dados passa então a ser feito mensalmente para análise do setor do meio ambiente junto ao de manutenção industrial. Todos os resultados apresentados aqui se referem ao mês de fevereiro de 2022. Os resultados semanais são médias dos valores diários, exceto nos gráficos que dizem respeito ao consumo semanal.

A Figura 38 nos mostra a vazão retirada ao longo do mês. Nela possível notar que a média de vazão diária se apresenta bem abaixo do permitido, fazendo com que o cumulativo mensal represente 39,52% do valor limite.

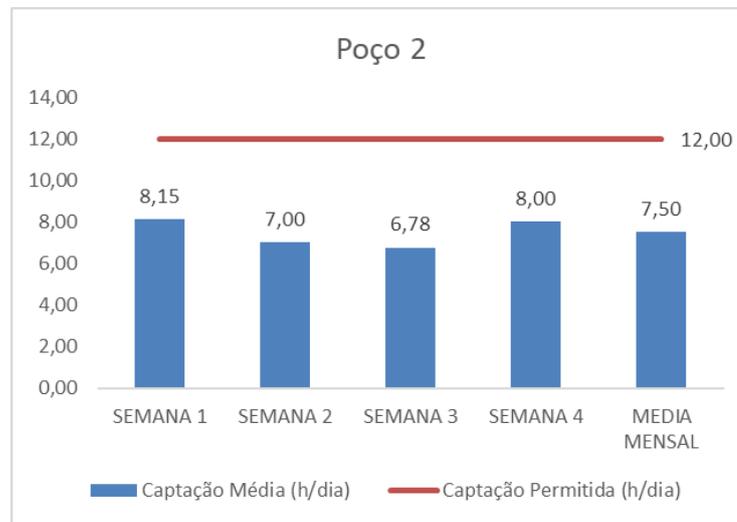
Figura 38 – Gráfico de vazão poço 2



Fonte: o autor (2022).

Já na Figura 39 é representado o tempo de captação médio diário do poço 2 ao longo das semanas. Os valores também se apresentam abaixo do estabelecido e a média final do mês representa um tempo de captação 62,50% menor do que o possível.

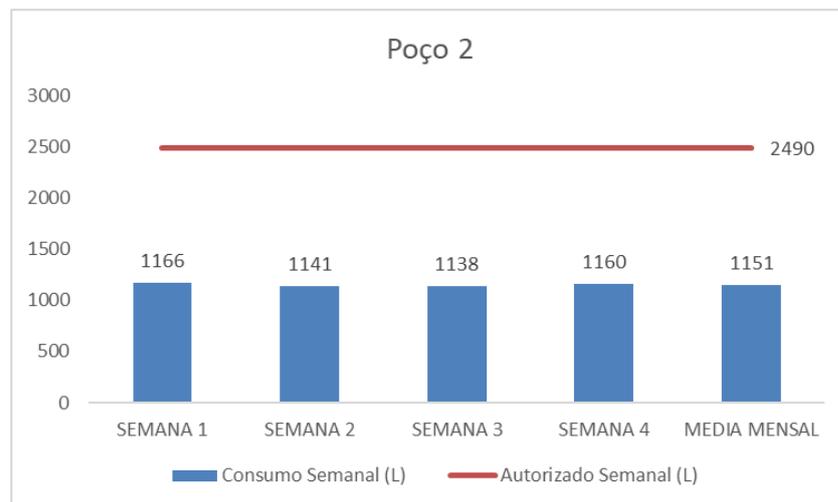
Figura 39 – Gráfico de captação poço 2



Fonte: o autor (2022).

Por último, ainda no Poço 2, foi feita a análise do consumo semanal, representado na Figura 40. Nota-se, também, a representação bem abaixo do limite de gastos, deixando assim a média no mês em 46,22% do limiar.

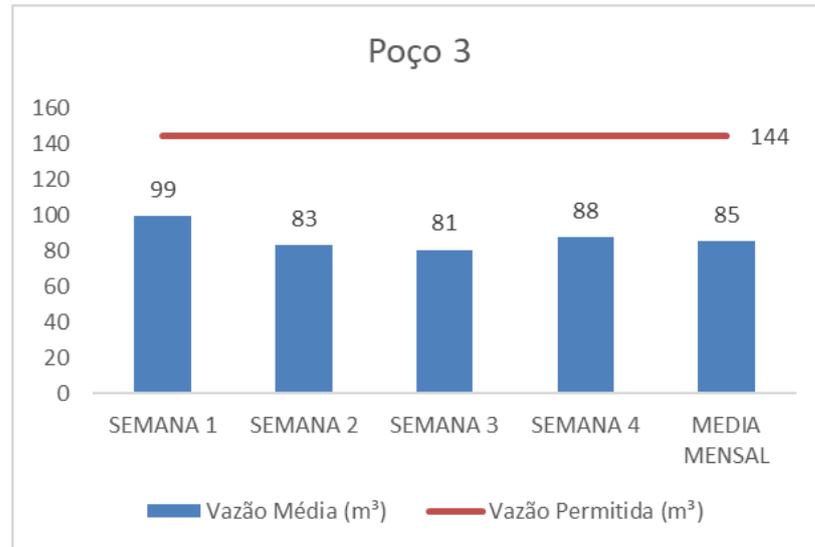
Figura 40 – Gráfico de consumo semanal poço 2



Fonte: o autor (2022).

No poço 3 a média de vazão diária, demonstrada na Figura 41, também esteve abaixo do permitido. Tendo no final do mês um desempenho de 59,02% do valor máximo.

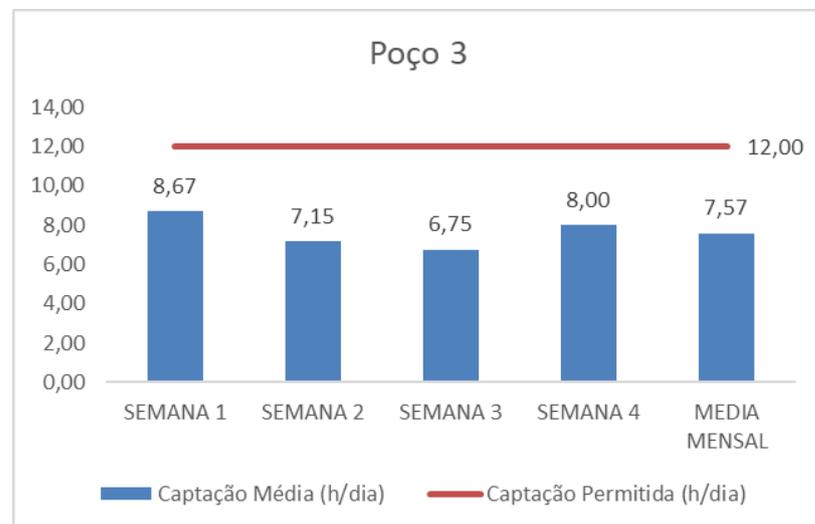
Figura 41 – Gráfico de vazão poço 3



Fonte: o autor (2022).

A captação do poço 3, presente na Figura 42, também demonstrou bons resultados, se apresentando ao final do mês 36,92% menor que o possível.

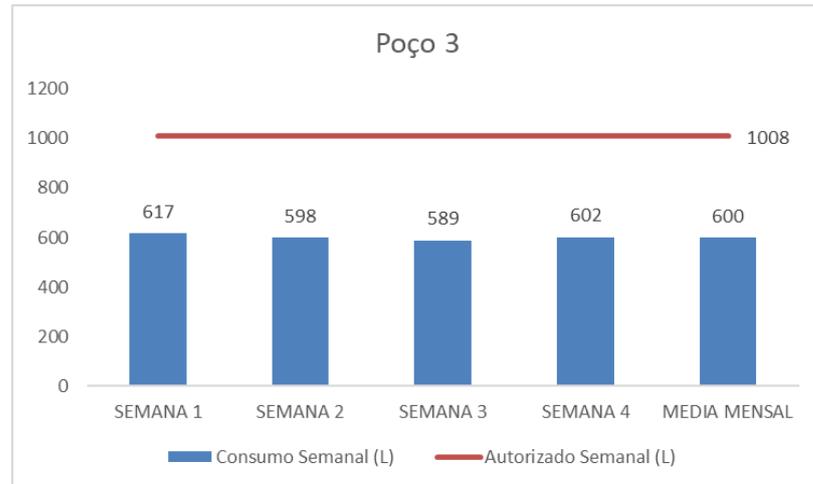
Figura 42 – Gráfico de captação poço 3



Fonte: o autor (2022).

Finalizando o poço 3, temos também o consumo semanal. Representado na Figura 43, vemos que obtivemos um bom resultado, representando 59,52% do consumo permitido.

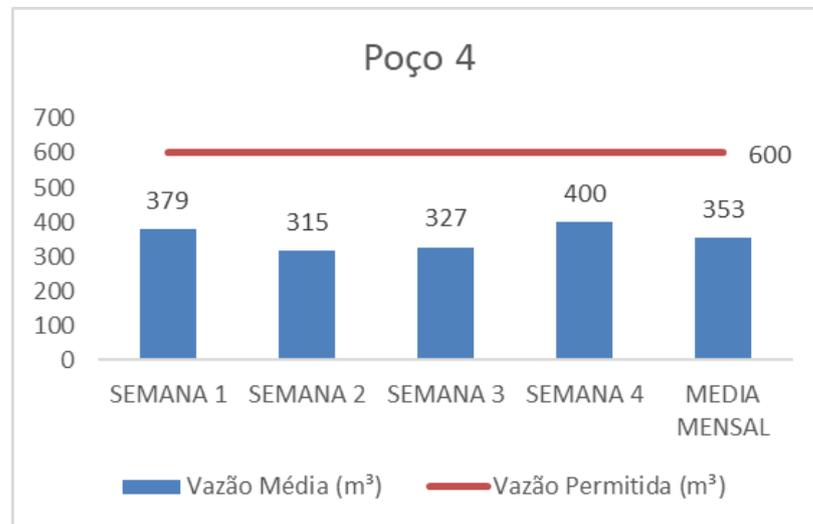
Figura 43 – Gráfico de consumo semanal poço 3



Fonte: o autor (2022).

Por fim, a análise do poço 4. Na Figura 44 é plotado o gráfico de vazão média do poço, que, assim como os outros, trabalhou abaixo do limiar estabelecido. Para este, obtivemos o resultado de 41,17% abaixo do máximo permitido.

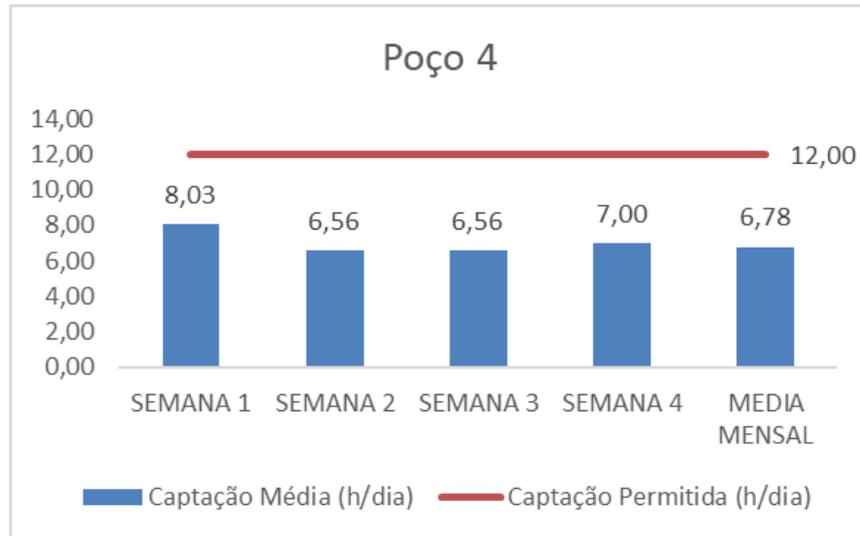
Figura 44 – Gráfico de vazão poço 4



Fonte: o autor (2022).

A captação do poço 4, vide Figura 45, trabalhou em média 56,40% das 12 horas permitidas por lei.

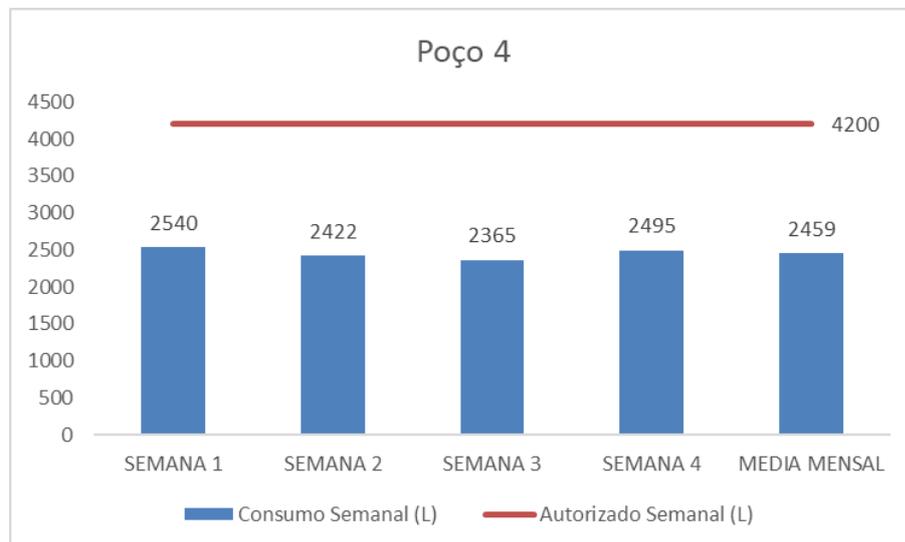
Figura 45 – Gráfico de captação poço 4



Fonte: o autor (2022).

O consumo semanal do poço, que possui maior capacidade, também foi abaixo da barreira estabelecida, como pode ser visto na Figura 46. Neste, o resultado médio semanal foi de 58,54% do limite.

Figura 46 – Gráfico de consumo semanal poço 4



Fonte: o autor (2022).

De modo geral, todos os poços se mantiveram dentro dos padrões estabelecidos pela outorga. Obtivemos assim, como média dos 3 poços no mês de fevereiro: 47,53 % abaixo em vazão, 39,31% abaixo em captação e 45,24% abaixo no consumo semanal.

O monitoramento do sistema ficou principalmente por conta da IHM instalado na oficina, mostrado na Figura 47. Dessa forma, foram orientados os líderes de manutenção industrial a acompanharem a interface pelo menos uma vez ao dia, tornando rotina em nosso ambiente a supervisão do processo.

Figura 47 – IHM em funcionamento



Fonte: O autor (2022).

Além disso, foi pedido para que fosse coletado o nível da caixa principal uma vez por turno. Devido a possibilidade de monitorar à distância os status dos poços e das caixas, a necessidade de deslocamento até as instalações foi resumida à casos emergenciais, diminuindo assim os riscos envolvidos nessa trajetória.

Desde a instalação não houve ocorrência de transbordamento e, conseqüentemente, não foi necessária a parada de produção por problemas de abastecimento.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas soluções para o desenvolvimento da automação e monitoramento do sistema de poços artesianos e abastecimento de água da empresa em questão. A concepção do projeto se deu pautada nos princípios ambientais, físicos e logísticos envolvidos no processo controlado.

Para o enquadramento da outorga dos poços artesianos nos parâmetros, foram utilizadas de ferramentas lógicas e instrumentos equivalentes, proporcionando-os trabalhar a todo momento abaixo do limiar licenciado, obtendo, assim, resultados satisfatórios em relação à essa pauta.

Os conhecimentos acerca de automação tiveram suma importância ao executar do projeto. O uso dos CLP's no sistema possibilitou simplificar um processo que utiliza instrumentos robustos de forma que ficasse acessível o monitoramento do mesmo pelos colaboradores. Além disso, foi reduzida a necessidade de deslocamento, cumprindo assim um dos objetivos estabelecidos.

Por fim, referindo-se a trabalhos futuros, consolida-se a utilização desse método para reprodução em outras caixas d'água da empresa, assim como demonstrado inicialmente na Figura 17. Podendo, ainda, aplicar ao CLP de cada caixa tratamentos individuais, variando de acordo com a demanda e particularidades de cada setor atendido por elas.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, Cassio Espindola; BOGO, Damian Larsen. **OFICINA DE INTRODUÇÃO A CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP)–TEORIA BÁSICA, NOÇÕES DE PROGRAMAÇÃO E OPERAÇÃO**. Anais da Mostra de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cidadania (MEPEC), v. 3, p. 113-114, 2018.

BORGES, Sara Cristina Martins. **Projeto de telegestão para rede de abastecimento de água na Ilha de Santiago em Cabo Verde**. 2021. Tese de Doutorado.

CAPELLI, A. **Automação Industrial- Controle do Movimento e processos Contínuos**. 2ªEd. São Paulo: Érica, 2011.

CAVALLIN, Rejane Vera. **Análise e identificação de formas de acesso de diferentes conexões, e aplicação de IHM (interface homem-máquina) utilizando o projeto piloto UTFPR-MD**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

COMER, Douglas E. **Redes de Computadores e Internet-6**. Bookman Editora, 2016.

DA SILVA, Gladimir Pinto. **Controladores Lógicos Programáveis**. 2006.

DELOITTE. **Um outro futuro é possível: Perspectivas para o setor químico no Brasil**. [s.l.], 2018.

DE OLIVEIRA, Flávia Gonçalves Rocha et al. **CONTROLE DE PERDAS EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS (MG)**. 2009.

FAGUNDES, J.P.R, AMORIM, A.L. **POÇOS ARTESIANOS: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro. [s.l.], 2015.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos**. Saraiva Educação SA, 2008.

GUGIK, Gabriel. **A história dos computadores e da computação**. TecMundo, Curitiba, 2009.

HIDALGO, Juliana M., QUEIROZ, Daniel de Medeiros e ANSELMO, Dory H.A.L.O **“Princípio de Pascal” nos livros do PNLD 2018: uma análise crítica multicontextual (histórica e conceitual)**. Revista Brasileira de Ensino de Física [online]. 2021, v. 43 [Acesso em 24 de fev. 2022], e20210064. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0064>>. Epub 06 Ago 2021. ISSN 1806-9126. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0064>.

IBARRA, A.R.G. **Desenvolvimento de transmissores de pressão diferencial baseados em sensores piezoresistivos e saída analógica 4-20 mA**. Orientador: Prof. Dr. Edgar Charry Rodriguez. 2014. 75f. Dissertação (Mestrado) – Ciências, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-19032015-163304/publico/Dissertacao\\_Alejandro\\_Ibarra.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-19032015-163304/publico/Dissertacao_Alejandro_Ibarra.pdf)

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Igam, 2010. 113 p.

MOREIRA, I.S. **Sistemas hidráulicos industriais**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (São Paulo). – 2.ed.—São Paulo:Senai SP editora, 2012.

ROSSI, Anderson Rodrigo. **Apostila CLP–LOGO!**. Piracicaba. 2008.

SCARTEZINI, L. M. B. **Análise e melhoria de processos**. Goiânia, 2009.

SOUZA, Marcelo de. **Proposta de um sistema de gestão empregando instrumentação inteligente e redes de campo na automação do processo de tratamento de água.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VALÉRIO, Freire Alberto Bertelli. **Sistema de supervisão aplicado a indústria de manufatura: um caso aplicado.** 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

VENTURELLI, Márcio. **Redes Ethernet Industrial: Conceito e aplicação na Automação e Controle Industrial.** Automacaoindustrial, 2021. Disponível em: <[www.automacaoindustrial.info/redes-ethernet-industrial-conceito-e-aplicacao-na-automacao-e-controle-industrial](http://www.automacaoindustrial.info/redes-ethernet-industrial-conceito-e-aplicacao-na-automacao-e-controle-industrial)>. Acesso em: 06 de mar. de 2022.

VIANA, Ulisses Barcelos. **Instrumentação Básica–Pressão e Nível.** SENSI/Companhia Siderúrgica de Tubarão, Vitória, 1999.

YGOR, C. A.; JOÃO, C. S. **A interface homem-máquina e a segurança do trabalho.** Uberlândia, 2011.

ANEXO 1 – FBD ABASTECIMENTO CAIXA PRINCIPAL

