

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

FELIPE LUIS MULLER

**ESTUDO DO PROTOCOLO *PROFIBUS* ACERCA DE UM SISTEMA DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL COMPARATIVAMENTE A OUTROS PROTOCOLOS
DE COMUNICAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ERECHIM - RS

2021

FELIPE LUIS MULLER

**ESTUDO DO PROTOCOLO *PROFIBUS* ACERCA DE UM SISTEMA DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL COMPARATIVAMENTE A OUTROS PROTOCOLOS
DE COMUNICAÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica,
Departamento de Engenharias e Ciência da
Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Câmpus de Erechim.**

Orientador: Prof. Esp. Fernando Luis Tartari
Peres

ERECHIM - RS

2021

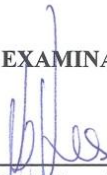
FELIPE LUIS MULLER

**ESTUDO DO PROTOCOLO PROFIBUS ACERCA DE UM SISTEMA DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL COMPARATIVAMENTE A OUTROS PROTOCOLOS
DE COMUNICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica,
Departamento de Engenharias e Ciência da
Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Câmpus de Erechim.

Erechim, 10 de dezembro de 2021.

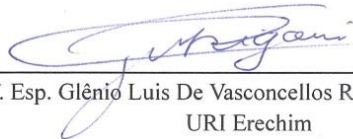
BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Fernando Luis Tartari Peres (Orientador)
URI Erechim



Prof. Dr. Cassio Luciano Baratieri (Examinador)
URI Erechim



Prof. Esp. Glênio Luis De Vasconcellos Rigoni (Examinador)
URI Erechim

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha esposa, que nunca mediram esforços para que eu alcançasse todos os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Vilmar e Ivone, os quais me ofereceram a melhor educação possível e que, com muito sacrifício, me proporcionaram oportunidades para que eu pudesse chegar até essa etapa.

Agradeço a minha esposa Liamara e minha filha Valentina por suportar a minha ausência durante todo este período de estudos, pela paciência, apoio e incentivo que foram fundamentais para alcançar meu objetivo.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Esp. Fernando Luís Tartari Peres pela disponibilidade, confiança e apoio em todos os momentos, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que, de certa forma, contribuíram para que eu pudesse alcançar esse objetivo.

Por fim, agradeço a Deus por me proporcionar essa magnífica experiência.

Todo mundo tem problemas, todo mundo lida com mil coisas. Mas é a forma como você administra isso que importa. É isso que vai te diferenciar.

(Gabriel Goffi)

RESUMO

Nos últimos anos o mercado de instrumentação e automação vem demandando equipamentos de campo tais como transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, atuadores e controladores entre outros, com alta performance, confiabilidade e disponibilidade. Por essa razão, a comunicação entre equipamentos e sistemas tem se tornado cada vez mais importante, com a intenção de obter melhores resultados como minimizar consumos, reduzir a variabilidade de processos, reduzir custos operacionais e de manutenção, assim como garantir otimização no processo. Nesse sentido, este trabalho apresenta um estudo referente ao protocolo *profibus* aplicado em uma indústria de biodiesel, expondo as características essenciais desses protocolos, levando em consideração um comparativo entre a implantação de uma rede de automação convencional de 4 a 20 mA, rede *profibus* e *Ethernet/IP*, seguindo as classificações das redes e os diversos protocolos existentes. Em uma segunda etapa, por sua vez, um sistema de supervisório foi desenvolvido com o intuito de possibilitar a visualização de dados em tempo real, o gerenciamento das informações e a operação sobre o sistema de automação, o qual foi dividido em etapas sequenciais: análise e criação do supervisório com base no software *Factory Talk View*, elaboração dos blocos e tag's do sistema referente ao protocolo de comunicação. Assim, a partir dos resultados obtidos e do conhecimento desenvolvido mediante a exploração da literatura, foi constatada a viabilidade da utilização do protocolo *profibus*. Por fim, a última etapa desse trabalho foi dedicado à montagem de uma bancada de automação, com o objetivo de realizar a leitura das informações fornecidas pelos instrumentos e, dessa forma, validar os procedimentos metodológicos aplicados.

Palavras-chave: Automação. Protocolo *Profibus*. Sistema de supervisório.

ABSTRACT

In recent years, the instrumentation and automation market has been demanding field equipment such as pressure and temperature transmitters, converters, positioners, actuators and controllers, among others, with high performance, reliability and availability. For this reason, communication between equipment and systems has become more important, with the intention of obtaining better results such as minimizing consumption, reducing process variability, reducing operating and maintenance costs, as well as ensuring process optimization. In this sense, this work presents a study regarding the profibus protocol applied in a biodiesel industry, exposing the essential characteristics of these protocols, taking into account a comparison between the implementation of a conventional automation network from 4 to 20 mA, profibus network and Ethernet/ IP, following the classifications of networks and the various existing protocols. In a second step, based on the knowledge developed through the exploration of the literature, a supervisory system was developed in order to enable the visualization of data in real time, the management of information and the operation of the automation system, which was divided into sequential steps: analysis and creation of the supervisory based on Factory Talk View software, elaboration of system blocks and tags related to the communication protocol. Thus, based on the results obtained and the knowledge developed through the exploration of the literature, the feasibility of using the profibus protocol was verified. Finally, the last stage of this work was dedicated to the development of an automation bench, with the objective of reading the information provided by the instruments and, in this way, validating the methodological procedures applied.

Keywords: Automation. Profibus Protocol. Supervisory system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dosagem de biodiesel no diesel.....	16
Figura 2 - Produção de biodiesel por matéria prima.....	17
Figura 3 - Evolução da produção de biodiesel.....	17
Figura 4 - Pirâmide da automação.....	19
Figura 5 - CLP Controllogix - <i>Allen Bradley</i>	22
Figura 6 - Transmissor de temperatura à prova de explosão.....	24
Figura 7 - Transmissor de temperatura para montagem no trilho DIN.....	25
Figura 8 - Transmissor para montagem em cabeçotes.....	25
Figura 9 - Transmissor de nível	26
Figura 10 - Transmissor de pressão capacitivo	27
Figura 11 - Transmissor de vazão mássico	28
Figura 12 - Válvula de controle tipo globo	29
Figura 13 - Posicionador digital	30
Figura 14 - Modelo de instalação centralizado (sem rede <i>profibus DP</i>)	32
Figura 15 - Modelo de instalação descentralizado (com <i>profibus DP</i>)	32
Figura 16 - Esquema típico de ligação <i>profibus PA</i>	34
Figura 17 - Esquema de ligação do protocolo <i>Hart</i>	35
Figura 18 - Rede <i>Ethernet/IP</i>	36
Figura 19 - Sinal <i>Hart</i> digital e 4-20 mA.....	37
Figura 20 - Variáveis do processo informadas no CLP via <i>hart</i>	38
Figura 21 - Informações obtidas pelo comunicador <i>hart</i>	38
Figura 22 - Configuração do CLP.....	44
Figura 23 - Conversor <i>Ethernet</i> para <i>profibus PA</i>	45
Figura 24 - Gateway <i>profibus DP</i>	45
Figura 25 - Ligação rede <i>profibus PA</i>	46
Figura 26 - Arquitetura de rede automação planta biodiesel	47
Figura 27 - Diagrama elétrico da planta de biodiesel	48
Figura 28 - Configuração dos cartões no CLP.....	49
Figura 29 - <i>Tag's</i> criados no CLP	49
Figura 30 - Detalhe <i>faceplate</i> original x personalizado.....	50
Figura 31 - Exemplo do <i>faceplate</i> e bloco do CLP	51
Figura 32 - Tela de matéria prima	52

Figura 33 - Tela final do processo de biodiesel.....	53
Figura 34 - Informações do <i>faceplate profibus PA</i>	54
Figura 35 - Informações do <i>faceplate 4-20 mA hart</i>	56
Figura 36 - Gráfico das variáveis de processo	56
Figura 37 - Bancada de testes.....	57
Figura 38 - Status da qualidade do sinal do <i>profibus pa</i>	59
Figura 39 - Configuração status variáveis <i>profibus pa</i>	60
Figura 40 - Tela do supervisor da bancada.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Poder calorífico diesel x biodiesel	18
Quadro 2 - Tipos de automação	19
Quadro 3 - Comparativo <i>Hart</i> e <i>profibus PA</i>	41
Quadro 4 -Equipamentos da bancada.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Corrente Alternada
A/D	Analógico/Digital
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ANP	Agência Nacional de Petróleo
B20	Biodiesel 20% puro
B100	Biodiesel 100% puro
CCM	Centro de Comando de Motores
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Process Unit</i>
DP	<i>Decentralized Peripherals</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
NC	Máquina de controle numérico
PA	<i>Process Automation</i>
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Processo de biodiesel no Brasil.....	16
2.2 Automação de processo.....	18
2.2.1 Controlador Lógico Programável.....	21
2.2.2 Sistema Scada.....	23
2.2.3 Instrumentação para o processo de biodiesel.....	23
2.2.4 Transmissor de temperatura.....	24
2.2.5 Transmissor de nível.....	26
2.2.6 Transmissor de pressão.....	26
2.2.7 Transmissor de vazão.....	27
2.2.8 Válvulas de controle.....	28
2.2.9 Posicionadores para válvulas de controle.....	29
2.3 Contextualização dos protocolos de comunicação.....	30
2.3.1 Rede <i>Profibus DP</i>	31
2.3.2 Rede <i>Profibus PA</i>	33
2.3.3 Protocolo <i>Hart</i>	35
2.3.4 Protocolo <i>Ethernet/IP</i>	36
2.4 Comparativo de redes industriais.....	37
2.4.1 Protocolo <i>Hart</i> x <i>Profibus</i> x <i>ethernet/IP</i>	37
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 Avaliação dos hardwares para o sistema de automação.....	43
3.1.1 Painel de Controle.....	44
3.2 Dispositivos e instrumentos de campo.....	46
3.3 Arquitetura de rede.....	46
3.4 Diagrama elétrico.....	47
3.5 Simulação e validação do sistema proposto.....	48
3.5.1 Programação do controlador lógico programável.....	48
3.5.2 Desenvolvimento da tela de supervisão.....	50

4 RESULTADOS.....	54
4.1 Simulação das variáveis.....	54
4.2 Teste em bancada da comunicação entre os instrumentos.....	57
5 CONCLUSÃO	62
5.1 Perspectivas futuras.....	63
REFERÊNCIAS	64
ANEXOS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Um processo industrial é um sistema de ações que estão inter-relacionadas de forma dinâmica e que estão orientadas para a transformação de determinados elementos. O ramo industrial vem buscando a perfeição e a qualidade de seu produto, gerando alternativas que possam garantir maior produtividade em menor tempo e custo em seu processo produtivo. Por isso, através da evolução industrial, melhorias foram inseridas nas indústrias e em sua forma de produzir, como por exemplo, um processo industrial automatizado, fazendo com que a forma de se fabricar um produto ocorra de modo homogêneo, ou seja, evitando que imperfeições possam surgir na sua conclusão. Essas novas tecnologias da automação industrial desencadeiam o aparecimento e a implementação de novas funcionalidades com o objetivo de tornar mais eficaz os resultados obtidos na produção (NEVES et al., 2007).

De acordo com Silva (2014), a automação de processos aparece como uma possível solução para esses problemas, diminuindo a necessidade da mão humana no processo produtivo, além de facilitar o esforço humano e proporcionando um controle maior sobre todas as suas etapas. A automação possibilita o controle absoluto dos processos de produção, permitindo a extração de dados estatísticos e de desempenho. Esses dispositivos automatizados permitem que os computadores calculem e avaliem com exatidão a situação do processo.

Atualmente, é notória a importância das redes de automação digitais visto estarem presentes nos mais diferentes níveis no ambiente industrial. As redes digitais se comunicam entre si desde o chão de fábrica até o ambiente corporativo, conceitualizando o termo da indústria 4.0 onde dados, usuários e máquinas trocam informações. Os dados percorrerão caminhos na forma horizontal e vertical, para que haja interoperabilidade dos diferentes processos. No contexto das redes de automação industrial, os protocolos evoluíram para os chamados *fieldbuses*, quer dizer, protocolos digitais padronizados que permitem inúmeras vantagens, entre elas a habilidade dos sistemas ciber-físicos (suporte de peças, estações de montagem e produtos), dos humanos e das fábricas inteligentes de se conectarem e se comunicarem entre si através da Internet e da Computação em Nuvem.

Existem diferentes protocolos de acordo com os perfis de comunicação. Dentre eles, para aplicações de controle de processos, é possível citar os protocolos *profibus*, *foundation fieldbus*, *profinet* e, para os perfis de controle de manufatura, os protocolos *devicenet*, *ASI*, *controlnet* e *ethernet/IP* (Kumar, 2014).

Com o surgimento de equipamentos de campo inteligentes, uma grande variedade de dados são gerados, como: dados de configuração por meio de ferramentas de manutenção e controle através das ferramentas de supervisão. Esses dados podem ser gerados para usuários ou mesmo para outras aplicações.

Diante do exposto, este trabalho propõe um estudo a respeito de um processo de automação baseado no protocolo *profibus* em uma indústria de biodiesel, observando quais são os tipos de instrumentos e equipamentos mais adequados para o projeto. Nesse sentido, serão analisadas as redes de automação convencional 4-20 mA, *ethernet* e a rede *profibus*, com a implementação de uma interface de comunicação entre a automação e um computador.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo comparativo entre o protocolo *profibus* e outros protocolos de comunicação acerca de um sistema de automação industrial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Contextualizar a automação no processo de biodiesel;
- Expor um comparativo entre a implantação de uma rede de automação convencional de 4 a 20mA, *ethernet/IP* e a rede *profibus*;
- Implementar uma interface de comunicação entre o sistema de automação e o computador;
- Validar o sistema proposto por meio de testes no supervisório;
- Desenvolver uma bancada com instrumentos em protocolo *profibus PA* e protocolo *hart* 4-20 mA;
- Elaborar lógicas de controle para leitura das informações;
- Analisar as informações fornecidas pelos instrumentos;
- Realizar malhas de controle para melhor ajuste no processo;
- Verificar e comparar os dados obtidos dos instrumentos via *profibus PA* e *hart*.

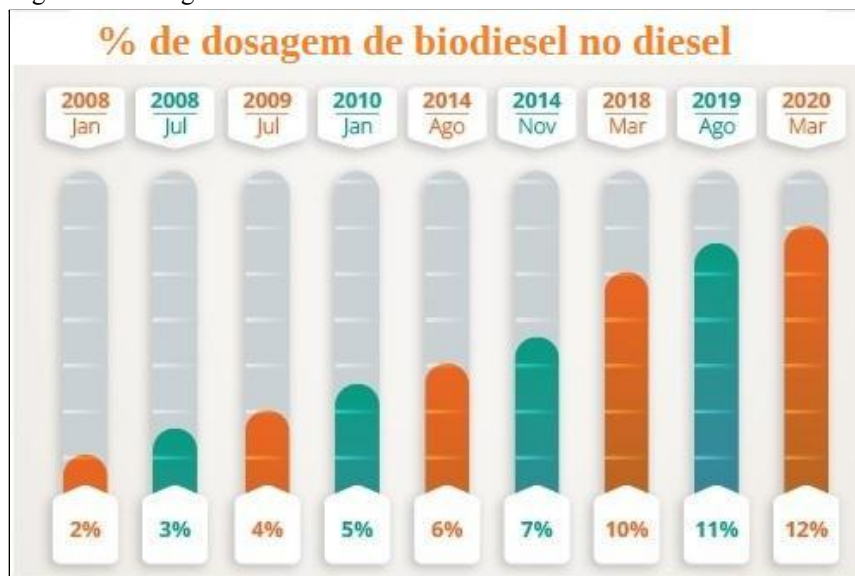
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os conceitos e os estudos de diversos autores com relação ao tema do presente trabalho. Num primeiro momento, é apresentada uma breve contextualização sobre a automação em processos de planta de biodiesel. Em seguida, são enfatizados os protocolos de comunicação e as tecnologias compreendidas por esses processos, a exposição de suas principais características, bem como a realização de um comparativo entre as redes de automação convencional 4-20 mA, a rede *profibus* e *ethernet/ip*, além do sistema de automação desenvolvido especificamente para a execução e a comunicação dos equipamentos. Por fim, são evidenciados os meios de elaboração do sistema de supervisório.

2.1 Processo de biodiesel no Brasil

O biodiesel tem colaborado na diversificação da matriz energética, diminuindo, assim, a demanda de utilização do petróleo. O Brasil, por sua vez, segue a passos largos em busca deste objetivo, tornando-se um dos cinco maiores produtores e consumidores desse biocombustível, fazendo com que a análise de parâmetros comparativos - a fim de sugerir propostas para o setor através de diferentes cenários - ganhe cada vez mais importância no meio industrial. Na figura abaixo, é possível observar a comparação de dosagem de biodiesel no diesel ao longo dos anos.

Figura 1 – Dosagem de biodiesel no diesel

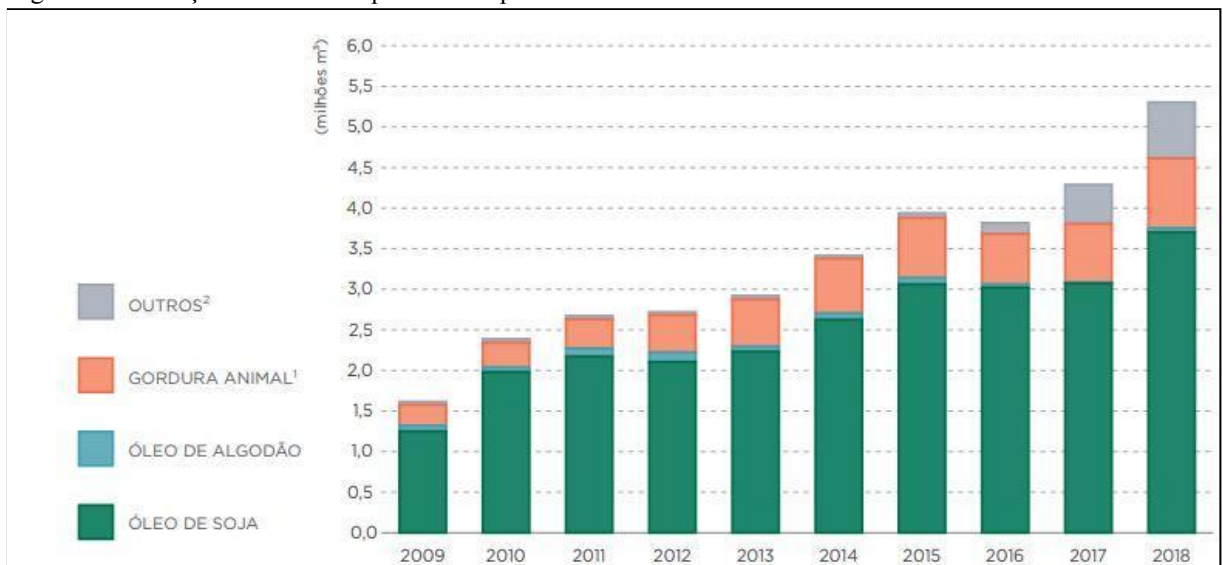


Fonte: ANP (2020)

Segundo o anuário estatístico de 2019 da Agência Nacional do Petróleo (ANP), a principal matéria-prima de produção do biodiesel no Brasil é a soja, conforme Figura 2.

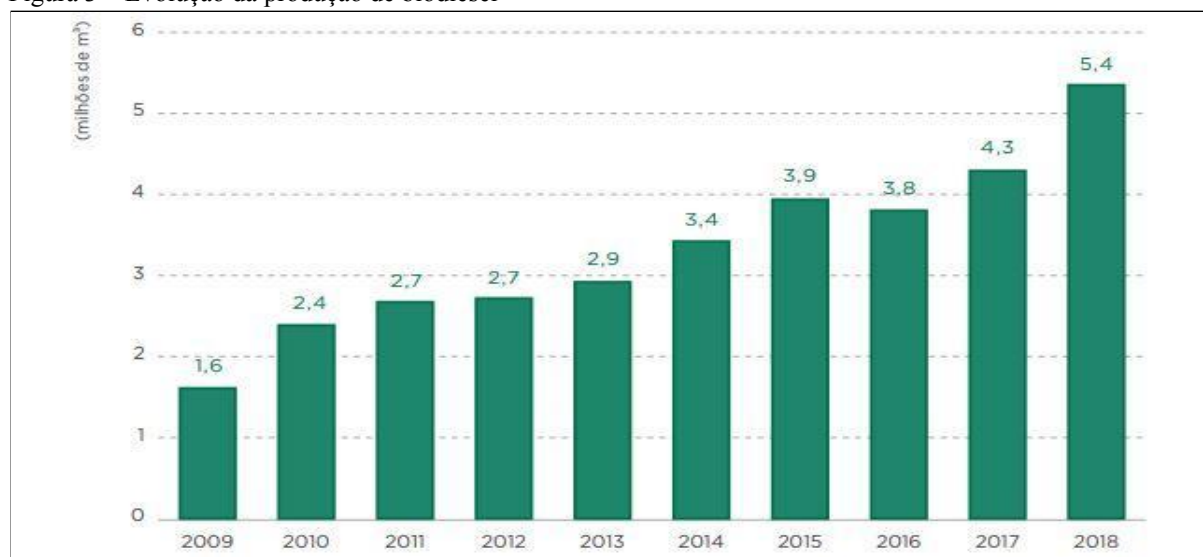
Conforme a ANP, a produção brasileira de biodiesel em 2009 correspondia a 1,6 milhões de m³, e passou para 5,4 milhões de m³ em 2018, conforme mostra a Figura 3. Estes dados comprovam que a legislação sobre a produção do biodiesel amplia a mistura do biodiesel no diesel mineral, e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) colabora para o avanço da produção do biodiesel puro no Brasil – B100 (ANP, 2019).

Figura 2 – Produção de Biodiesel por matéria prima



Fonte: ANP (2019)

Figura 3 – Evolução da produção de biodiesel



Fonte: ANP (2019)

O biodiesel pode ser utilizado em sua composição B100, ou seja, 100% puro ou misturado ao óleo diesel, conforme legislação vigente (BRASIL, 2016). Quando utilizado em sua composição B100, seu poder calorífico é de 37,1 MJ/kg. Enquanto o diesel puro possui um poder calorífico de 42,5 MJ/kg (TUTAK et al., 2017), portanto é necessário um volume maior de biodiesel para gerar a mesma energia que o diesel. O poder calorífico do B20, ou seja, mistura de 20% de biodiesel ao diesel, é de 44,5 MJ/kg, conforme demonstra o Quadro 1 (TAN et al., 2016).

Quadro 1 – Poder calorífico diesel x biodiesel

MISTURA	TUTAK et al. (2017)	TAN et al. (2016)
B100	37,1 MJ	35 MJ
B20	-----	44,5 MJ
D100	42,5 MJ	44,8 MJ

Fonte: Adaptado de TAN et al., (2016)

2.2 Automação de processos

De acordo com Sheridan (1992), automação é o controle automático de operações ou sistemas realizado por dispositivo elétrico, eletrônico ou mecânico em que há substituição dos órgãos humano de visão, decisão ou esforço na operação.

Até 1770 o desenvolvimento da automação era baseado no desenvolvimento da automação mecânica, na criação de mecanismos fixos para auxiliarem nos processos fabris. Em 1950, com a invenção do transistor, houve grande avanço tecnológico que possibilitou o controle de máquinas e processos através de circuitos eletrônicos e, posteriormente, de computadores (FRANCHI; CAMARGO, 2010).

O controle automático de um processo contribui para a melhoria na eficiência da execução da atividade e na redução do uso de pessoas em tarefas repetitivas e, por fim, reduz os custos com mão-de-obra. São consideradas vantagens da automação de processos: a qualidade do produto e sua homogeneidade. Essas características são muito importantes no produto final ao consumidor. No caso da produção de biodiesel, é fundamental que o processo mantenha a qualidade dos produtos. Outra vantagem da automação do processo é a liberação do homem das tarefas entediadas e insalubres, colocando máquinas e equipamentos para realizarem essas atividades, permitindo ao homem executar tarefas mais prazerosas e de cunho intelectual. (HAIGHT, 2017).

Para Moraes e Castrucci (2010), a automação industrial apresenta diferentes camadas de controle de automação, conforme a Figura 4, nas quais separa os níveis de equipamentos e dispositivos em campo até o gerenciamento corporativo da empresa. A pirâmide está organizada em cinco níveis hierárquicos. Os níveis mais baixos estão diretamente relacionados com os equipamentos utilizados em campo, enquanto os níveis superiores tratam do gerenciamento dos processos, da planta e da empresa.

Figura 4 – Pirâmide da automação



Fonte: Santos (2014)

Com o enorme crescimento da automação industrial, a tecnologia se desenvolveu rapidamente, trazendo consigo uma gama de máquinas automatizadas que aumentam cada vez mais a produção. Automatizar significa utilizar uma série de avanços tecnológicos nos processos de produção, com objetivos estratégicos, visando a atender às exigências do mercado. Gaither e Frazier (2001), afirmam que há seis tipos de automação, conforme expresso no quadro abaixo.

Quadro 2 – Tipos de automação

TIPOS DE MÁQUINAS	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
Anexos de máquinas	Máquinas que substituem o esforço humano por esforço de máquina e tipicamente executam de algumas a muitas operações.	Anexos para avanço de magazine, dispositivos para centralização e fixação rápidas para tornos.

Máquinas de controle numérico (NC)	Máquinas com sistemas de controle, que leem instruções e as convertem para operações de máquina.	Tornos, tornos mecânicos verticais, máquinas de fabricação de pneus, máquinas de cura, máquinas de tecelagem.
Robôs	Manipuladores de uso geral, reprogramáveis, de múltiplas funções, que possuem algumas características semelhantes às humanas.	Máquinas que soldam, pintam, montam, inspecionam a qualidade, pegam, transportam e armazenam.
Inspeção automatizada do controle de qualidade	Máquinas automatizadas que executam parte, ou todo o processo de inspeção.	Verificações de circuitos eletrônicos, verificações de funções ativadas por computador e robôs de pesagem.
Sistemas automáticos de identificação (AIS)	Tecnologias usadas em aquisição automática de dados de produtos para entrada num computador.	Sistemas de código de barras, contabilidade de estoques, entrada de dados para controle de chão de fábrica, sistemas para ajustar configurações de máquinas de produção.
Controles automatizados de processo	Tecnologias usadas em aquisição automática de dados sobre o processo de produção que enviam ajustes para as configurações do processo.	Sistemas de controle para laminadores de pneus, calandras no processamento de filme plástico, unidades de destilação fracionada em refinarias de petróleo.

Fonte: Adaptado de Gaither e Frazier, (2001)

De acordo com Capelli (2016), é possível compreender que na automação industrial há a presença de três áreas da engenharia:

- A mecânica, por intermédio de presença de máquinas que transformam matérias-primas em produtos acabados;
- A engenharia elétrica, que fornece motores, seus acionamentos, fundamental para o controle e automação das linhas de produção;
- A informática, por meio da elaboração de bancos de dados que disponibilizam informações a todos os níveis da indústria.

Tendo isso em vista, observa-se que a automação industrial está diretamente relacionada com sistemas de qualidade, uma vez que é ela a responsável por assegurar a manutenção da produção sempre de forma padronizada e com significativa produtividade,

com menor tempo, preço aprimorado e produto de qualidade. Levando em conta o meio ambiente industrial, a automação também garante o cumprimento de normas específicas, relacionadas ao meio ambiente do trabalho, por meio de sistemas de controle de resíduos provenientes do processo produtivo, portanto tem uma função relevante no contexto industrial em termos de produção, segurança e competitividade no mercado.

Existem, basicamente, dois tipos de processos industriais, segundo a manipulação das variáveis a serem controladas. Quando tais variáveis são, em sua grande maioria, do tipo analógico, ou de tempo contínuo, tem-se um processo do tipo contínuo. Caso as variáveis sejam do tipo discreta, ou digital, tem-se um processo do tipo discreto (SILVEIRA, 1999).

Diante dessa condição e dessa exposição teórica sobre a automação industrial, na sequência, serão destacados os periféricos para composição de uma automação industrial e a relevância das redes de comunicação no sentido de reduzir as falhas decorrentes desse processo.

2.2.1 Controlador lógico programável

O Controlador Lógico Programável (CLP), surgiu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na *Hydronic Division* da General Motors, em 1968, devido à grande dificuldade de mudar a lógica de controle de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem. Por conta disso, todas as lógicas dos painéis de relés eletromecânicos tinham que ser modificadas. Isso requer muito tempo na manutenção e, às vezes, levavam na substituição do painel de grandes dimensões físicas, tendo um alto custo na troca deste equipamento. Os CLP's contribuíram para solucionar esse problema, eliminando o alto custo referente à fiação e manutenção, ocasionadas pela lógica baseada em relés, e possuindo uma dimensão física bem menor, não necessitando de um grande espaço físico (ALVES, 2005).

Num primeiro momento, o CLP surgiu basicamente para substituir os painéis a relés. Com a evolução tecnológica foram introduzidas outras funções a este dispositivo, tais como funções aritméticas, terminais de programação e subsistemas remotos de entrada e saída. A capacidade aritmética permitiu a interface com instrumentos, já os terminais de programação tornaram mais fáceis a introdução de programas. Os subsistemas diminuíram ainda mais os custos em relação às fiações, sendo que as entradas e saídas podem estar localizadas a centenas de metros de distância de um computador, comunicando através de um par de fios. É permitido uma grande variedade de aplicações a esses dispositivos, envolvendo controle de

processo, automação da manufatura, integração de sistemas de automatização, que necessitem de funções de controle (ALVES, 2005; SILVEIRA, WINDERSON, 2006).

Na Figura 5 é apresentado um modelo de CLP de grande porte usado na indústria.

Figura 5 – CLP Controllogix - Allen Bradley



Fonte: Allen Bradley, (2021)

Algumas características mais relevantes dos CLP's são:

- Caráter modular dos CLP's: Permite adequar o controlador para qualquer aplicação, já que o projetista especifica só o número e tipos de módulos que precisa de acordo com o número de entradas, saídas e outras funções, que requer o processo a ser controlado, adequando-se o controlador à aplicação;
- Flexibilidade dada pela programação: Pode ser aplicado a qualquer tipo de processo e facilmente alteradas as funções através do programa, sem precisar mudar a instalação;
- Comunicação: Cada fabricante possui redes de comunicação proprietárias e possibilidades para comunicação com outros CLP's, ou componentes como inversores de frequência, o que possibilita a distribuição de tarefas de controle e a centralização das informações através de computadores, nos quais rodam aplicativos de supervisão. Diversos meios físicos são possíveis: fios trançados, fibras ópticas ou ondas de rádio;
- Redundância: Quando o sistema assim o requer, são fornecidos módulos e CPU's (Unidade Central de Processamento) redundantes (com mais de uma CPU) que garantem uma altíssima confiabilidade de operação, até nos processos mais exigentes.

Segundo Franchi e Camargo (2008), os CLP 's também se encaixam na arquitetura de Von Neumann. Uma unidade central de processamento recebe informações através de uma unidade de entrada de dados, processa essas informações, segundo as especificações de um programa armazenado em uma unidade de memória, e devolve os resultados através de uma unidade de saída. O sistema de entrada e saída é conectado fisicamente nos dispositivos de campo (interruptores, sensores etc.), e provém também uma interface entre a CPU e o meio externo. Os programas são normalmente realizados na linguagem *ladder*, a linguagem que mais se aproxima de um esquema elétrico baseado em relés, e são colocados na memória da

CPU em forma de operações. Finalmente, baseado no programa, o CLP escreve ou atualiza as saídas atuando nos dispositivos de campo. Esse processo, também conhecido como um ciclo, continua na mesma sequência, sem interrupções ou mudanças, apenas quando as mudanças são realizadas através de comandos de programa.

2.2.2 Sistema SCADA

Os sistemas de supervisórios permitem o acompanhamento em tempo real de informações de um processo produtivo ou instalação física. As informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados, em seguida manipuladas, armazenadas, e posteriormente, apresentadas aos usuários. Esses sistemas também são chamados de SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*.

O supervisório aperfeiçoa o processo de monitoração e controle, uma vez que disponibiliza o estado atual do sistema, possibilitando a tomada de decisões operacionais convenientes para o bom funcionamento dos equipamentos, podendo ser feita automaticamente ou por intervenção do operador, tornando-se, assim, uma fonte importante de informação.

Para o projeto aplicado foi utilizado o software *FactoryTalk View Studio* no qual contém editores para criar aplicações completas e inclui software cliente e servidor para testar as aplicações criadas. O *FactoryTalk View* já vem com bibliotecas gráficas e frontais de processos que podem ser usados nas aplicações, sendo que muitos dos objetos da biblioteca gráfica são pré-configurados com animação.

2.2.3 Instrumentação para o processo de biodiesel

Segundo Helfrick (1990), o processo de medição inclui a utilização de um instrumento como o meio físico para determinar o valor de uma grandeza. A instrumentação eletrônica é compreendida como o ramo da engenharia que projeta, desenvolve, testa e especifica instrumentos, sistemas e dispositivos que realizam medições.

2.2.4 Transmissor de temperatura

De acordo com Soloman (2010), a temperatura é um parâmetro muito importante a ser controlado em quase todo processo industrial químico, pois afeta diretamente algumas propriedades físicas dos materiais da planta e a qualidade dos produtos fabricados.

Atualmente é possível observar três linhas de transmissores de temperatura associadas com a aplicação e o custo. Um transmissor inteligente combina a tecnologia do sensor mais sua eletrônica, sendo:

- Transmissores à prova de explosão e à prova de tempo: Normalmente utilizados em aplicações críticas, com alta e média performance, possuem carcaça com duplo compartimento, separando eletrônica e sensores, dando robustez, segurança e confiabilidade, possuem indicação local, autodiagnose, comunicação digital, ajuste local e são utilizados com os mais diversos sensores em medições simples, dupla, diferencial, sensor backup (CASSIOLATO, 2004)

Figura 6 – Transmissor de temperatura à prova de explosão



Fonte: Endress+Hauser, (2021)

- Transmissores para painel, montagem em trilho DIN: Sua principal aplicação é monitoração, permitindo fácil instalação, inúmeras opções em ambientes fechados e conexões com sensores, alta flexibilidade de instalação e manutenção, dando

segurança e confiabilidade, são utilizados com os mais diversos sensores em medições, sendo termopares, termoresistências, entre outros (CASSIOLATO, 2004). Na Figura 7 é apresentado um transmissor para montagem em trilho DIN.

Figura 7 - Transmissor de temperatura para montagem no trilho DIN



Fonte: Smar (2021)

- Transmissores para montagem em cabeçotes: Sua principal aplicação é a montagem em cabeçotes, já que pode ser instalado ao tempo sem que sofra nenhum tipo de anomalia, conforme exibido no Figura 08. Atualmente é o transmissor mais utilizado na indústria (CASSIOLATO, 2004).

Figura 8 - Transmissor para montagem em cabeçotes



Fonte: Smar (2021)

2.2.5 Transmissor de nível

A maneira mais simples de definição de nível é dizer que nível é a altura do conteúdo de um reservatório ou tanque de armazenamento, por meio do qual torna-se possível, basicamente, avaliar o volume estocado de produto, determinando e controlando a quantidade de material em processo físico e/ou químico, levando ainda em conta a segurança, visto que o nível do produto não pode ultrapassar determinados limites (VIVACE, 2020).

Existem inúmeros modelos de instrumentos de nível, porém o mais usual e com uma medição de alta precisão é o transmissor diferencial de pressão. Nesse tipo de medição utiliza-se a pressão exercida pela altura da coluna líquida (hidrostática), para indiretamente, obter-se o nível (CASSIOLATO, 2005).

Figura 9 - Transmissor de nível



Fonte: Smar (2021)

2.2.6 Transmissor de pressão

Em geral, existem vários tipos de sensores para medição de pressão, e são classificados conforme a técnica usada na conversão mecânica da pressão em um sinal eletrônico proporcional. Todas as tecnologias têm um só propósito, que é o de transformar a pressão aplicada em um sensor em um sinal eletrônico proporcional à pressão. Abaixo alguns tipos de sensores:

- Capacitância Variável (Capacitivos);
- Piezo-resistivo(Strain Gage);
- Potenciométrico;
- Piezo-elétrico;

- Relutância Variável;
- Ressonante;
- Óptico.

Os sensores capacitivos são os mais confiáveis e os mais utilizados na indústria, pois são baseados em transdutores, onde a pressão aplicada nos diafragmas faz com que se tenha uma variação da capacitância. Essa variação de capacitância é comumente usada para variar a frequência de um oscilador, ou usada como elemento em uma ponte de capacitores. Essa frequência pode ser medida diretamente pela CPU e convertida em pressão. Nesse caso não existe conversão A/D o que contribui na exatidão e eliminação de sinais indesejados embutidos nas conversões analógicas/digitais (INSTRUMATIC, 2014).

Figura 10 - Transmissor de pressão capacitivo



Fonte: Vivace (2021)

2.2.7 Transmissor de vazão

Na maioria das operações realizadas nos processos industriais é muito importante efetuar a medição e o controle de fluxo de líquidos, gases e até sólidos granulados, não só para fins contábeis, como também para a verificação do rendimento do processo. A vazão é a terceira unidade de grandeza mais medida nos processos, e possui diversas aplicações desde as simples medições de vazão de água em tratamentos de residências, até nas grandes indústrias, com fluidos diferentes de água, como gases, fluidos corrosivos e químicos. Alguns fatores como a precisão da medição, tipo de fluido, condições de temperatura e do ambiente e espaço físico disponível devem ser levados em consideração, visto que no mercado há uma alta gama de variedades de instrumentos (CASSIOLATO, ALVES, 2006).

Figura 11 - Transmissor de vazão mássico



Fonte: Endress+Hauser (2021)

Um dos instrumentos mais usuais na indústria petroquímica é a medição da vazão mássica, pois pode ser utilizada desde o início do processo em medição da matéria-prima como no meio do processo em controle de dosagens, bem como no final, contabilizando a quantidade expedida.

2.2.8 Válvulas de controle

Mathias (2014) explica que uma válvula de controle abre e fecha a passagem interna de um fluido em conformidade com um sinal de controle. Porém, quando o sinal é recebido de um controlador, temos então o controle automático da válvula. Mas, quando o sinal vem de um painel de controle, temos um controle manual, embora remoto desse equipamento. As válvulas de controle são utilizadas em várias aplicações diferentes na indústria, como em tubulações ou entradas e saídas de tanques.

A válvula de controle tem uma importância enorme no processo, pois constitui-se no elemento final do controle, é o veículo pelo qual o regulador corrige o erro acusado pela tomada de impulso e que estará atuando de forma direta no processo, com a função de mitigar a diferença entre a situação desejada e a situação real da variável controlada. (FELÍCIO, 2010).

Cada válvula é dimensionada de acordo com os dados de processo da qual ela será instalada. Portanto, é necessária a correta avaliação do tipo de válvula exigida e em quais condições de trabalho ela será inserida. Válvulas subdimensionadas podem acarretar um

gargalo de processo e a consequente perda de eficiência, enquanto válvulas superdimensionadas tendem a aumentar consideravelmente os gastos com sua manutenção. Ademais, deve existir a correta análise do material de construção das válvulas para aplicações com corrosivos ou ambientes prejudiciais aos aços sem revestimento. As válvulas do tipo globo são as mais utilizadas em aplicações, nas quais o processo necessita que o controle modulante (abertura e fechamento) seja mais preciso para controlar vazão ou pressão (MATHIAS, 2014).

Figura 12 - Válvula de controle tipo globo



Fonte: Emerson Process (2021)

2.2.9 Posicionadores para válvulas de controle

No início da automação o elemento final de controle era somente uma válvula acionada, em geral, pneumaticamente. A válvula era suficiente para manter o processo controlado e garantir a planta produzindo. Ao longo do tempo, com a experiência profissional e o desenvolvimento de novas ferramentas de modelamento matemático, o processo de produção passa a requerer controles mais finos e precisos, com vistas a melhorias de produção e otimização da qualidade. Assim, a válvula de controle não podia mais trabalhar na base do “mais ou menos”, precisava atuar de forma mais precisa no processo (CASSIOLATO, 2007).

A função do posicionador é garantir o máximo possível que a abertura da válvula de controle esteja mais próxima do sinal de saída do controlador. Para isso, o posicionador mede a posição da haste da válvula e compara com o valor recebido do controlador. Similarmente à descrição anterior, o posicionador faz aumentar ou diminuir a pressão no atuador da válvula

de forma a eliminar o erro da posição da haste em relação ao sinal do controlador. Isso significa que o posicionador, da mesma forma que o controlador, tem parâmetros de controle que precisam ser configurados para evitar oscilações indesejáveis no processo. Os posicionadores podem ser montados em qualquer tipo de válvula, linear e rotativa. O posicionador pode ser aplicado em qualquer segmento industrial em que se use válvula de controle (CASSIOLATO, 2007).

Figura 13 - Posicionador digital



Fonte: Smar (2021)

2.3 Contextualização dos Protocolos de comunicação

A tecnologia da informação tornou-se determinante no desenvolvimento da tecnologia da automação, alterando hierarquias e estruturas no ambiente dos escritórios e, agora, chega ao ambiente industrial nos seus mais diversos setores, desde as indústrias de processo e manufatura até prédios e sistemas logísticos. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes são componentes indispensáveis no conceito de automação de hoje. A comunicação expande-se rapidamente no sentido horizontal, nos níveis inferiores (nível de campo), assim como no sentido vertical integrando todos os níveis hierárquicos de um sistema. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação, tais como: *Ethernet*, *Profibus* e *AS-Interface*, oferece as condições ideais de redes abertas em processos industriais (INSTRUMATIC, 2012).

Durante as últimas décadas, uma variedade de protocolos foram implementados para sistemas de automação industrial. O protocolo *profibus DP* é o protocolo de comunicação industrial que possui o maior percentual em unidades vendidas e maior êxito entre todos os *fieldbuses* no domínio industrial (YU et al., 2012).

Tendo em vista o fato de que este trabalho foi desenvolvido mediante a automação baseado no protocolo *profibus*, a primeira etapa metodológica foi baseada na contextualização do sistema em estudo. Dentre esses, é possível destacar:

- *Profibus DP*;
- *Profibus PA*;
- *Hart*;
- *Ethernet IP*.

2.3.1 Rede *Profibus DP*

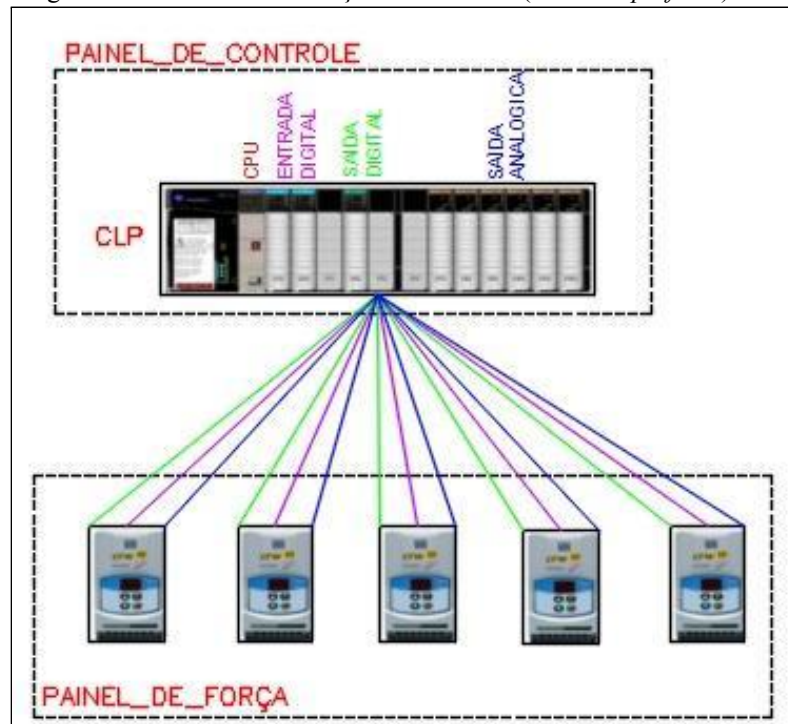
A rede *profibus DP* é projetada para comunicação rápida de dados entre dispositivos. A aplicação típica do *profibus DP* é a comunicação entre o controlador e seu dispositivo de E/S remoto. A comunicação entre estes dispositivos é feita de forma cíclica e de acordo com a norma EN 50170.

O protocolo *profibus DP* corresponde a *Decentralized Peripherals* (Periferias Descentralizadas). Em seguida, o fato de ser descentralizada será exemplificado.

Em um CCM industrial são inúmeras as partidas de motores, soft starter, inversores de frequência e partidas diretas, e todos conectam-se aos módulos de E/S de um CLP, que está localizado em outro painel na sala de controle. Para isso, é preciso conectar cada um dos equipamentos ao CLP com cabos individuais, o que resulta em um grande número de cabos em paralelo com comprimento considerável, além do uso de cartões de entrada e saída digital e saída analógica para modulação dos inversores de frequência conforme apresentado na Figura 14, o que certamente onera o custo de instalação do sistema. Nessa construção, os módulos de E/S estão situados ao lado do CPU do CLP, na sala de controle.

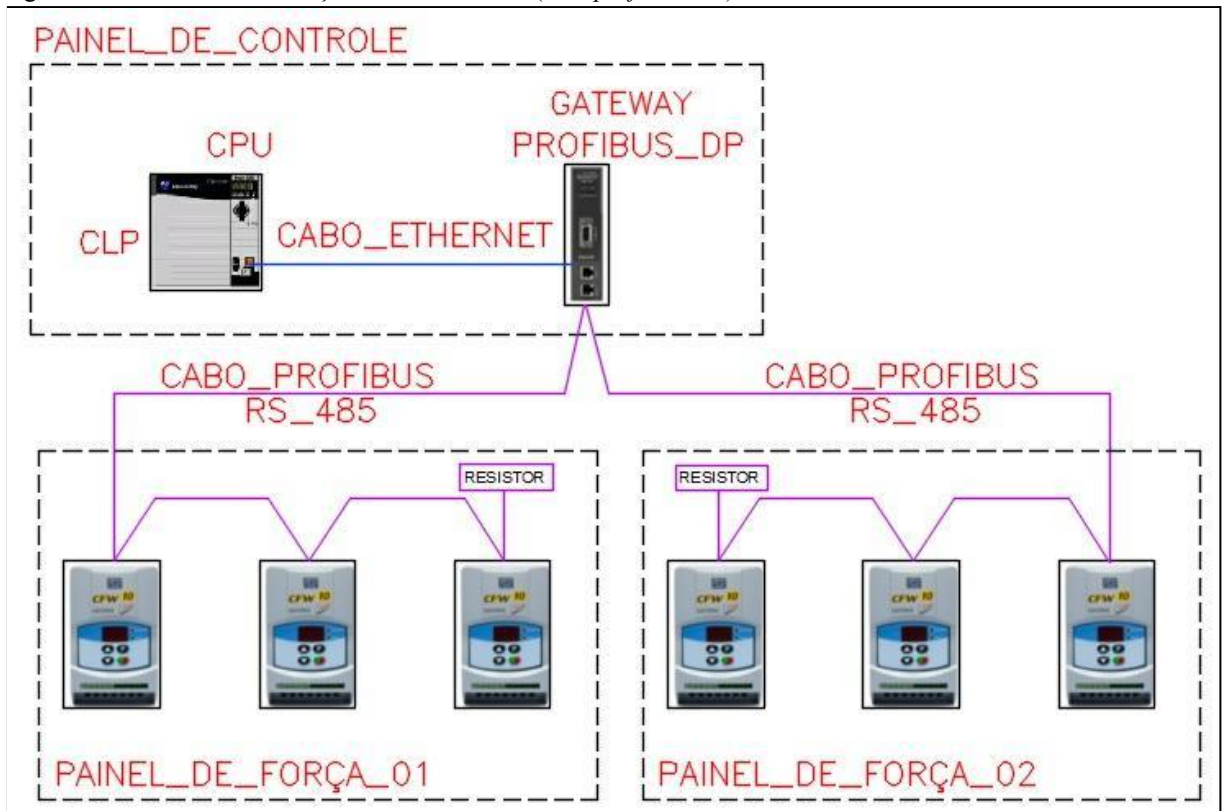
Para aplicar o *profibus DP* retira-se os módulos de E/S e insere-se um gateway *profibus DP*, o qual utiliza o padrão RS-485 como meio elétrico de transmissão. Nesse padrão, pode existir em cada segmento no máximo 32 dispositivos ativos. Quando há a necessidade de instalação de um número maior de dispositivos na rede, faz-se necessário utilizar repetidores de sinal. Por meio dos repetidores é possível gerar novos segmentos na rede, onde é possível instalar até 32 novos dispositivos. No entanto, no *profibus DP*, o número máximo de dispositivos é de 126. São utilizados resistores de terminação e não são recomendadas derivações a partir da linha principal. Essa nova configuração é ilustrada na Figura 15.

Figura 14 - Modelo de instalação centralizado (sem rede *profibus*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 15 - Modelo de instalação descentralizado (com *profibus DP*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Segundo Arcanjo (2016), na rede *profibus DP* os dispositivos podem ser classificados de três modos:

- Mestre DP Classe 1: É um controlador central que troca informações com as estações escravas dentro de um ciclo de mensagens especificado. O dispositivo mestre mais comum é o controlador lógico programável (CLP).
- Mestre DP classe 2: São os programadores, dispositivos de configuração ou sistemas de supervisão. Os mestres classe 2 são utilizados para a configuração da rede ou para os propósitos de operação e monitoria.
- Escravo DP: É um dispositivo periférico (dispositivos de E/S, inversor de frequência, IHM, válvula) que coleta informação de entrada e/ou atua sobre o processo com informações oriundas da própria rede. A quantidade de informação de entrada e saída depende do tipo de dispositivo. O *profibus* permite até 246 bytes de entrada e 246 bytes de saída.

As completas funções de diagnóstico do *profibus DP* possibilitam a rápida localização de falhas. As mensagens de diagnóstico são enviadas pela rede e analisadas no mestre. Essas mensagens são divididas em três níveis:

- Diagnósticos referentes à estação: Mensagens que informam sobre status operacional geral de todo o dispositivo (temperatura elevada demais ou tensão baixa).
- Diagnósticos referentes à modulo: Estas mensagens indicam que existe uma falha em um I/O específico (por exemplo, o bit 7 do módulo de saída) de uma estação.
- Diagnósticos referentes à canal: Mensagens que informam sobre erros em um bit de entrada/saída específico (curto circuito na saída 7).

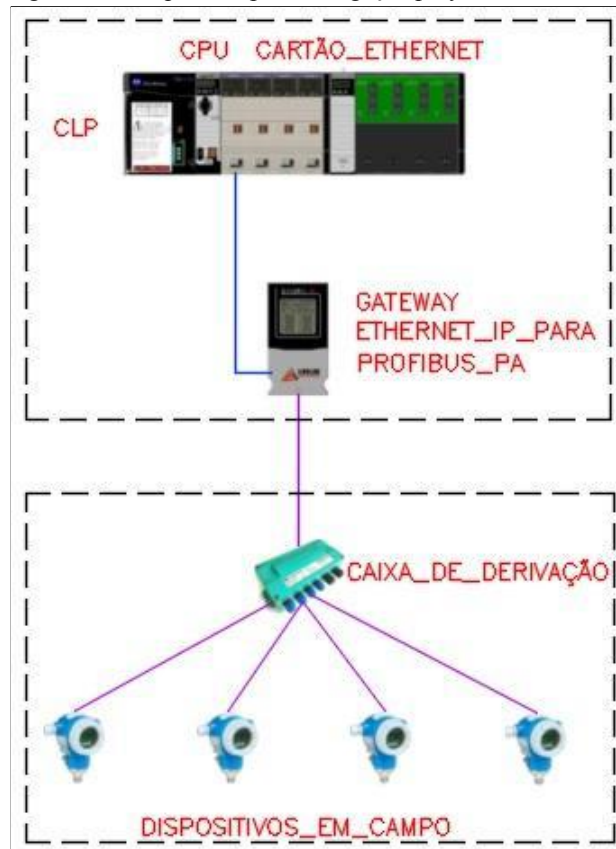
2.3.2 Rede *Profibus PA*

Profibus PA é uma solução que atende aos requisitos de automação de processos em que sistemas de automação e sistemas de controle de processo são conectados a dispositivos de campo, como transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores etc. Pode ser usado para substituir os padrões de 4 a 20 mA.

No *profibus PA* a norma IEC 61158-2 determina que o meio físico para a medição e controle deve ser um par de fios trançados, no qual o cabo tipo A para *profibus PA* é altamente recomendado, a fim de garantir as melhores condições de comunicação e distâncias envolvidas. Assim, é possível alimentar dispositivos de campo em áreas intrinsecamente seguras, podendo conectar e desconectar os instrumentos para manutenção, mesmo durante a

operação, sem perturbar outros locais em áreas potencialmente explosivas. A Figura 16 apresenta um esquema típico da ligação *PA*.

Figura 16 - Esquema típico de ligação *profibus PA*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

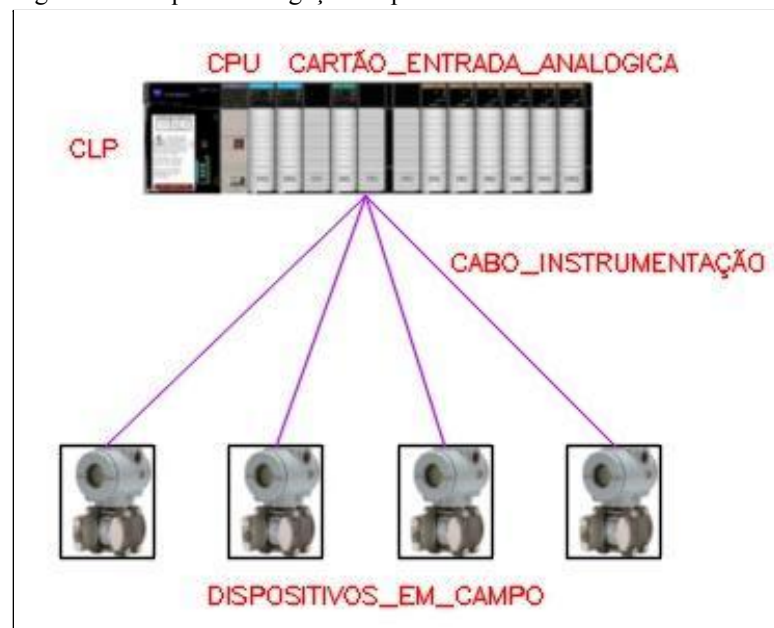
O *profibus PA* foi desenvolvido em cooperação com usuários da indústria de controle e processo *namur*, para atender aos requisitos especiais desse campo de aplicação, incluindo:

- O perfil original da aplicação para a automação do processo e interoperabilidade dos equipamentos de campo dos diferentes fabricantes;
- Adição e remoção de estações de barramentos, mesmo em áreas intrinsecamente seguras sem influência para outras estações;
- A comunicação é transparente e é realizada através do acoplador de segmento entre o barramento de automação *profibus PA* e o barramento de automação industrial *profibus DP*;
- Alimentação e transmissão de dados sobre o mesmo par de fios é baseada conforme a IEC 61158-2;
- Uso em áreas potencialmente explosivas com blindagem explosiva tipo “intrinsecamente segura” ou “sem segurança intrínseca”.

2.3.3 Protocolo *Hart*

O protocolo *hart* é geralmente usado para comunicação entre dispositivos de campo inteligentes e sistemas de controle. É o primeiro protocolo de comunicação digital bidirecional, que não afeta os sinais de controle analógico. O padrão fornece dois canais de comunicação síncronos sendo um sinal analógico de 4-20 mA e um sinal digital. O sinal analógico usa um loop de 4-20 mA para transmitir as variáveis medidas (no caso de um instrumentos de campo), enquanto o sinal digital é usado para transportar outras informações do dispositivo, como padrões de configuração, calibração, parametrização, tag descritivo etc. O *hart* pode ser usado na maioria das aplicações industriais, inclusive em áreas com potencial explosivo. Os instrumentos em campo são ligados com cabos específicos para instrumentação e suas principais características são boa flexibilidade, sinal claro e baixo ruído magnético. Na Figura 17 apresenta-se o esquema de ligação entre CLP e instrumentos com protocolo *hart*.

Figura 17 - Esquema de ligação do protocolo *hart*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Esse protocolo opera de acordo com o padrão mestre-escravo, segundo o qual o dispositivo escravo só envia uma mensagem quando o dispositivo mestre faz uma solicitação, ou seja, o instrumento de campo só envia informações quando recebe uma solicitação do sistema de controle.

O *hart* destaca-se por ter as seguintes características:

- Projeto simples, de fácil operação e manutenção;
- Compatibilidade com a instrumentação analógica;

- Sinal analógico e comunicação digital;
- Opção de comunicação ponto-a-ponto ou multidrop;
- Flexível acesso de dados usando até dois mestres;
- Suporta equipamentos multivariáveis.

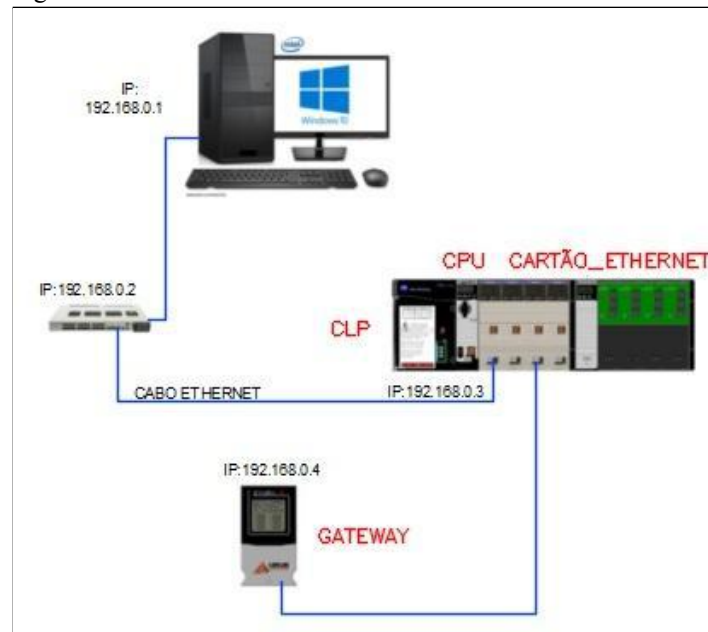
2.3.4 Protocolo *Ethernet/IP*

É o protocolo mais comumente usado em redes locais. Uma das razões é que sua arquitetura é aberta, ou seja, é de domínio público, estabelecido por órgãos oficiais de normatização e padronização e permite que qualquer fabricante adote sua própria arquitetura versão TCP/IP em seu sistema operacional, sem custo de direito autoral. Como resultado, o consumo dos desenvolvedores de sistema operacional aumentou, universalizando o uso do protocolo TCP/IP.

O protocolo TCP/IP foi concebido com a finalidade de interligar diversas redes, pois desta forma haveria muitos caminhos entre transmissor e receptor. Por isso, ele utiliza o esquema de endereçamento lógico, denominado endereçamento IP.

No processo industrial, cada dispositivo conectado necessita usar pelo menos um endereço IP, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Rede *Ethernet/IP*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

2.4 Comparativo de redes industriais

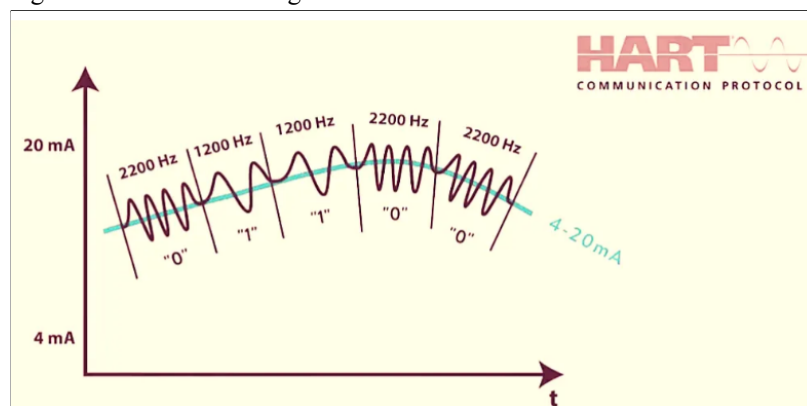
Com o intuito de avaliar o protocolo *profibus* na aplicação da indústria de biodiesel, é importante comentar sobre o protocolo *hart* 4-20 mA que é o protocolo mais utilizado no cenário atual, expondo e comparando as características técnicas do protocolo *hart* com o protocolo digital *profibus PA* e *Ethernet/IP*.

2.4.1 Protocolo Hart x Profibus x Ethernet/IP

O protocolo *hart* possui algumas vantagens, pois com os equipamentos inteligentes e utilizando-se da comunicação digital de forma flexível sob o sinal 4-20 mA, pode-se parametrizar e monitorar as informações de forma transparente. Esse protocolo controla de modo padronizado o envio e o recebimento de dados digitais através de cabos analógicos, entre dispositivos inteligentes e sistemas *host* (centralizado), é o protocolo mais difundido no mundo. A rede *hart* pode operar em dois tipos de arquitetura, a ponto a ponto e a *multidrop*.

A arquitetura ponto a ponto é a mais utilizada, a variável de processo que está sendo monitorada se comunica com o CLP através do sinal 4-20 mA. Já as informações adicionais do dispositivo, ou dados de processo, usam o sinal digital do protocolo *hart* para se comunicar e são transmitidos simultaneamente na mesma fiação. Os dados digitais são comunicados simultaneamente com o sinal 4-20 mA, utilizando o padrão *Bell-202* de chaveamento por deslocamento de frequência FSK (*Frequency Shift Key*) a uma taxa de 1200 bps. Na Figura 19 está detalhada a forma de comunicação.

Figura 19 – Sinal Hart: Digital e 4-20 mA

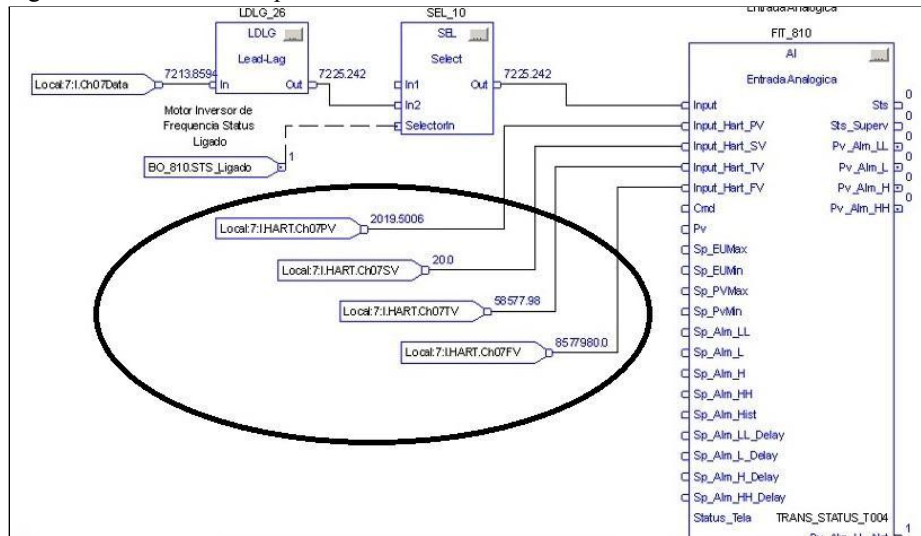


Fonte: Smar (2013)

Na prática, utilizam-se cartões de CLP que possuem a função *hart*. Por exemplo, no medidor de vazão é realizada a leitura via CLP da variável da vazão, temperatura, densidade.

Já para o caso de configuração e acesso dos parâmetros, somente é possível sua obtenção mediante um modem *hart* ou com um computador de mão. A Figura 20 apresenta na prática a arquitetura ponto a ponto dos dados obtidos via CLP, sendo na primeira variável a vazão instantânea, a segunda variável a temperatura do fluido, a terceira variável a densidade do fluido e a quarta variável vazão totalizada.

Figura 20 – Variáveis do processo informadas no CLP via *hart*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 21, por sua vez, apresenta as informações adicionais possíveis de serem obtidas com o comunicador *hart*, podendo ser configurado os limites de medição, o tamanho da linha em que o medidor será instalado, entre todos os dados necessários para um correto funcionamento do instrumento.

Figura 21 – Informações obtidas pelo comunicador *hart*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O protocolo *profibus* vem sendo altamente difundido em processos industriais, como visto em tópicos anteriores. O *profibus PA* vem tomando espaço no mercado em substituição ao protocolo *hart* 4-20 mA. Ele é baseado no perfil de comunicação DP e, dependendo do campo de aplicação, os meios de comunicação são o IEC 61158-2, RS-485 ou fibra óptica.

Pfaffenzeller (2014), justifica que o protocolo *profibus* habilita a maximização do potencial dos ativos de uma planta, onde os equipamentos de campo inteligentes são capazes de enviar informações sobre auto diagnósticos, status, tendências e alarmes, onde esse tipo de informação pode ser coletada e classificada por um sistema de gerenciamento de ativos que pode prever algumas situações indesejáveis. Dessa forma, o custo de manutenção corretiva pode ser reduzido, aumentando o ciclo de vida do ativo na planta de automação.

O padrão RS485 é a tecnologia de transmissão mais frequentemente encontrada no *Profibus DP*. Sua aplicação inclui todas as áreas nas quais uma alta taxa de transmissão é aliada a uma instalação simples e barata. A tecnologia de transmissão RS485 opera a uma taxa de transmissão entre 9,6 kbits/s e 12 Mbits/s que podem ser selecionadas, porém uma única taxa de transmissão é selecionada para todos os dispositivos no barramento. As redes *profibus* trocam dados segundo a codificação NRZ (*Non-Return to Zero*), em que o nível lógico do sinal não se altera durante a transmissão de bits 0 e 1. No *profibus* um caractere é formado por 11 bits (1 *start bit*, 8 bits de dados, 1 bit de paridade e 1 *stop bit*). Quando a linha está ociosa, o nível lógico correspondente ao bit 1 é mantido e só se modifica para o nível 0 quando se inicia um novo *start bit*.

No perfil *PA* são definidos os parâmetros dos dispositivos e o comportamento típico, tais como transmissores de variáveis, posicionadores e etc. Esse protocolo é independente do fabricante, facilitando, assim, a intercambiabilidade do dispositivo e a total independência do fabricante. O *PA* é um protocolo de comunicação digital bidirecional, permitindo que vários dispositivos sejam conectados diretamente à rede para realizar funções de aquisição e desempenho, bem como para monitorar o processo por meio de softwares de supervisórios.

O meio de transmissão é IEC 61158-2, em que a transmissão é digital, sincronizado a bit por código *Manchester* e possui uma taxa de transmissão definida em 31,25 Kbits/s. Permite, além de segurança intrínseca, que os dispositivos de campo sejam energizados pelo próprio barramento, possibilitando que a tecnologia seja utilizada em áreas classificadas.

O protocolo *PA* tem muitas vantagens em relação à 4-20 mA, pois pode realizar operações diretamente no software do CLP, desde a calibração do instrumento até acessar qualquer parâmetro de configuração. Conforme mencionado anteriormente, uma vez que um modem ou um computador portátil deve ser usado para acessar os parâmetros do instrumento

hart, o processo industrial, nesse caso, precisa ser interrompido, pois o instrumento deve ser desligado para esse tipo de configuração.

Segundo Aredes (2011), os custos para a montagem da rede convencional 4 a 20 mA são bem superiores quando que comparado a montagem da rede *profibus*, tanto com mão de obra quanto com materiais, onde observou-se uma diferença de 49,8% a mais nos custos referentes a materiais e mão de obra para a montagem da rede convencional de 4 a 20 mA em relação a rede *profibus*. Sendo uma das grandes vantagens de se utilizar uma rede de campo *profibus* é a facilidade para se instalar um novo instrumento à sua rede, ou seja, não é necessário realizar lançamento de cabos e confecção de eletrodutos desde o seu instrumento de medição no campo até o seu controlador, basta apenas ligá-lo ao seu painel de rede mais próximo.

Dentre essas comparações, os principais ganhos de se utilizar o protocolo *profibus* contra o 4 a 20 mA podem ser resumidos em:

Redução do custo de engenharia através:

- Redução do número de cartões de CLP's;
- Redução da documentação.
- Diagramas elétricos mais enxutos.

Redução do custo de instalação e comissionamento:

- Redução do custo com cabos de até 40%, caixas de terminais, bandejamento e dutos, gabinetes e espaço na sala elétrica;
- Fácil modificação, geralmente sem a necessidade de troca de fiação;
- Dispositivos multifuncionais reduzem o número de taps de processo.

Redução do custo de operação:

- Melhor capacidade de diagnóstico, redução do tempo de parada;
- Informação disponível em maior quantidade e qualidade facilitando a análise do processo e otimização.

Melhoria e aumento da funcionalidade e segurança do sistema:

- A redução de hardware diminui as fontes de erros;
- Facilita e agiliza a manutenção;
- Tempos de paradas mais curtos;
- Mecanismo de *Fail Safe* e tratamento de status entre os blocos funcionais;
- Informações dos equipamentos podem ser disponibilizadas no supervisorio;
- Tempos de ciclo muito curtos.

Maior número de fabricantes de equipamentos:

- Maior número de opções para o cliente;
- Maior número de aplicações nas indústrias;
- Maior concorrência e menor custo dos equipamentos.

Já o protocolo *ethernet/IP* usa todos os protocolos de *ethernet* tradicionais, incluindo o TCP (*Transport Control Protocol*), o IP (*Internet Protocol*) e as tecnologias de sinalização e acesso ao meio físico encontradas em todas as interfaces de rede *ethernet*. Por basear-se em tecnologias padronizadas para *ethernet*, a *ethernet/IP* operará de modo transparente com todos os dispositivos padrão *ethernet* disponíveis atualmente. Com o desenvolvimento da tecnologia *ethernet* na camada física, houve avanços em velocidade como dessa rede como 10/100/1000 Mbps. Os cabos *ethernet* oferecem uma alta confiabilidade em ambientes de escritório típicos. No entanto, expor o mesmo cabo de cobre ou conectores de fibra a condições extremas como poeira, variações de temperatura, umidade, interferência eletromagnética e vibrações, como é o caso no chão de fábrica, pode comprometer o desempenho e a confiabilidade do sistema. Em ambientes de chão de fábrica onde a exposição a alguns ou a todos esses fatores é uma ocorrência diária, a conexão típica (tomada e plugue RJ-45) pode sofrer corrosão, rachaduras, depósito de poeira e, eventualmente, falhar. Por fim, acarretaria altos custos de manutenção com pesquisas de defeitos na rede e substituição de componentes. Atualmente, no mercado já existem conectores industriais, porém muitos fabricantes de instrumentos ainda não possuem em seu portfólio equipamentos que atendem esse protocolo.

Para efeito de instalação, o Quadro 3 apresenta um breve comparativo sobre os protocolos *Hart* e o *Profibus PA*.

Quadro 3 – Comparativo *Hart* e *Profibus PA*

PROTOCOLO HART	PROTOCOLO PROFIBUS PA
Meio físico: par trançado conforme norma NBR 10300	Meio físico: de acordo com norma IEC 61158-2
Taxa de Transmissão: 1200 bps	Taxa de Transmissão: 31,25 kbit/s
Transmissão assíncrona a nível de caracteres UART (1 start bit, 8 bits de dados, 1 bit de paridade e 1 stop bit)	Para a transmissão dos parâmetros dos instrumentos e a operação dos equipamentos com ferramentas de engenharia, as funções acíclicas <i>read/write</i> do <i>profibus DP</i> são utilizadas
Tempo médio de aquisição de um dado é 378,5 ms	Transmite 1 kbyte de dado de entrada e saída em menos de 2ms

Método de acesso ao meio: Mestre/escravo	Comunicação Mono e multi mestres
Topologia: Ponto a ponto ou multidrop, onde todos os componentes são conectados pelo mesmo cabo. O protocolo permite o uso de até dois mestres. O mestre primário é um computador ou CLP ou multiplexador. O mestre secundário é geralmente representado por terminais <i>hand-held</i> de configuração e calibração	Topologia: Barramento, árvore/estrela, ponto-a-ponto; Cada equipamento de campo possui um endereço físico e único no barramento. Interligados e alimentados via barramento fieldbus.
Modulação: O sinal Hart é modulado em FSK (<i>Frequency Shift Key</i>) e é sobreposto ao sinal analógico de 4-20 mA. Para transmitir 1 é utilizada a frequência de 1200 Hz. Para transmitir 0 é utilizada a frequência de 2400 Hz. A comunicação é bidirecional. O sinal FSK é contínuo em fase, não impondo nenhuma interferência sobre o sinal analógico	Sinal de comunicação: codificação <i>Manchester</i> com a modulação de corrente
A distância máxima do sinal <i>hart</i> é de cerca de 3000 m com cabo com um par trançado blindado e de 1500 m com cabo múltiplo com blindagem simples	Cabeamento máximo de 1900 m
Não possui	Alimentação: via barramento ou externa, 9-32Vdc em áreas não intrinsecamente seguras;
Não possui	Status : Segue uma lógica dividida em 3 categorias: Qualidade sinal, Status e alarmes de limites
Não possui	Condição de segurança que o bloco entra quando o algoritmo detecta uma situação de falha. Os 3 blocos (Entrada Analógica, Saída Analógica e Totalização) possuem o mecanismo de <i>Fail Safe</i> ; Interoperabilidade e intercambialidade devido ao perfil <i>profibus PA</i> . Diagnósticos disponíveis nos instrumentos, facilitando a manutenção, baixo consumo de energia;
Não se aplica	Possibilidades de uso em áreas classificadas (Zonas 0, 1, e 2) em modo intrinsecamente Seguro (Ex ia/ib).

Fonte: Adaptado de Roberto. E. P. (2014)

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo descrever os procedimentos metodológicos necessários à elaboração deste trabalho. Dentre esses procedimentos, foi realizada uma análise com relação aos hardwares usados para o sistema de automação e os instrumentos de campo que contemplam esse sistema, tal como o sistema de supervisor. Além disso, é possível destacar a elaboração de uma arquitetura de rede e do diagrama elétrico, bem como o processo para validação do sistema proposto.

3.1 Avaliação dos hardwares para o sistema de automação

Para o sistema abordado, visto as diferenças entre os protocolos de redes, o protocolo *profibus DP/PA* possui vantagens em relação aos demais. Por ser um sistema de automação instalado em uma planta de biodiesel cuja atmosfera é explosiva, os equipamentos deverão ser certificados para trabalhar nesses locais. Essa certificação assegura que uma possível faísca gerada dentro do equipamento não causará uma explosão.

Os dois métodos mais utilizados nas indústrias são, prova de explosão e segurança intrínseca.

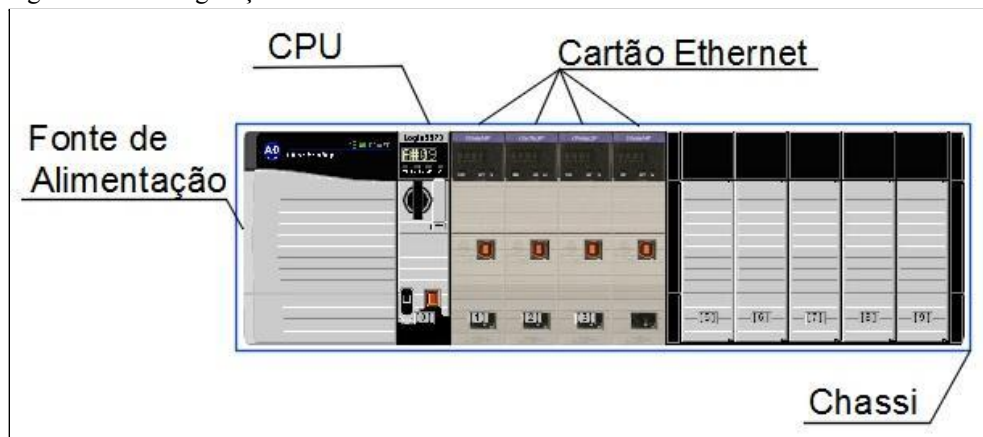
O método prova de explosão é baseado no princípio do confinamento, pois caso ocorra algum problema no circuito eletrônico do equipamento que possa gerar uma faísca, o próprio equipamento será capaz de conter essa faísca dentro dele. O princípio do confinamento requer o uso de três elementos na instalação, a saber, unidade seladora, cabo e eletroduto, todos certificados para trabalhar nessas áreas, em que a montagem elétrica representa um custo elevado em relação à intrínseca.

Assim, para o estudo apresentado, optou-se pelo método de segurança intrínseca, que tem o objetivo de limitar a energia produzida em campo, certificando-se de que esse valor fique em um nível considerado seguro e insuficiente para causar uma ignição. Para limitar a energia nessas áreas é necessário a instalação de uma barreira de segurança intrínseca. É ela quem vai assegurar que os limites de tensão, corrente, potência, capacitância e indutância permaneçam sempre dentro de valores considerados seguros, conforme estabelecido pela norma de segurança de instalação intrínseca IEC 60079. Além disso, as barreiras podem ser instaladas nas áreas classificadas ficando próximas dos equipamentos, diminuindo, assim, o uso de eletrodutos e cabos, conseqüentemente tendo um custo de instalação menor.

3.1.1 Painel de Controle

O CLP utilizado para o projeto é da marca *Allen-Bradley*, que pertence à *Rockwell Automation*. O modelo é da série 1756 *ControlLogix*. É composto por um chassi e cartões encaixáveis. Essa modularidade permite a instalação de múltiplos arranjos de entradas e saídas. O CLP para este projeto ficou configurado conforme Figura 22. Em seguida, serão apresentadas as funções básicas de cada um desses equipamentos.

Figura 22 – Configuração do CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

- Chassi: estrutura onde são encaixados os cartões do CLP e a fonte de alimentação. Por meio dessa estrutura ocorre a alimentação e a comunicação entre os diversos cartões;
- Fonte de Alimentação: responsável por converter a tensão de entrada para a tensão de funcionamento dos cartões. A tensão de entrada é 220 Volts AC, 60 Hz, e a tensão do CLP é 24 Volts DC;
- CPU: módulo onde são gravados os programas, contendo a lógica de controle. Realiza os cálculos e comparações em tempo real;
- Cartão de Comunicação *Ethernet*: permite a comunicação em alta velocidade entre o CLP, o computador e os dispositivos para comunicação *DP* e *PA*. Todos os cálculos e a lógica é realizada no CLP, o computador é utilizado para coletar esses dados.

Para a rede *profibus PA*, após uma pesquisa de mercado, foi identificado que a empresa *Rockwell* desenvolve e fornece o módulo conversor *ethernet para profibus PA*. Esse dispositivo de ligação fornece um link direto com o instrumento em campo, e suporta até 24 dispositivos de campo, fornecendo 500 mA, além de visualizar diagnósticos detalhados de cada dispositivo, tanto em seu display quanto via lógica do CLP. Na Figura 23 pode-se verificar o conversor PA.

Figura 23 – Conversor *Ethernet* para *profibus* PA



Fonte: Rockwell (2021)

Nesse contexto, para a configuração dos dispositivos da rede *profibus DP*, optou-se por utilizar o *gateway* modelo PLX51-PBM da *Prosoft Technology*, por ser uma empresa do grupo da *Rockwell*, o *gateway* e o software de configuração criam instruções dinâmicas com base na configuração do usuário para adicionar nomes de tag lógicos ao arquivo de projeto do CLP. Ele foi desenvolvido para operar como dispositivo mestre ou escravo na rede *profibus* e atua como um link de entrada e saída entre a rede *profibus* e o protocolo *ethernet/IP*. A transferência de dados pelo protocolo *ethernet/IP* é assíncrona da transferência de dados da rede *profibus*. Esse *gateway* admite a inserção de até 128 dispositivos e permite ao usuário monitorar e extrair alarmes de cada equipamento escravo. Na Figura 24 é apresentado o *gateway profibus DP*.

Figura 24 – Gateway *profibus DP*

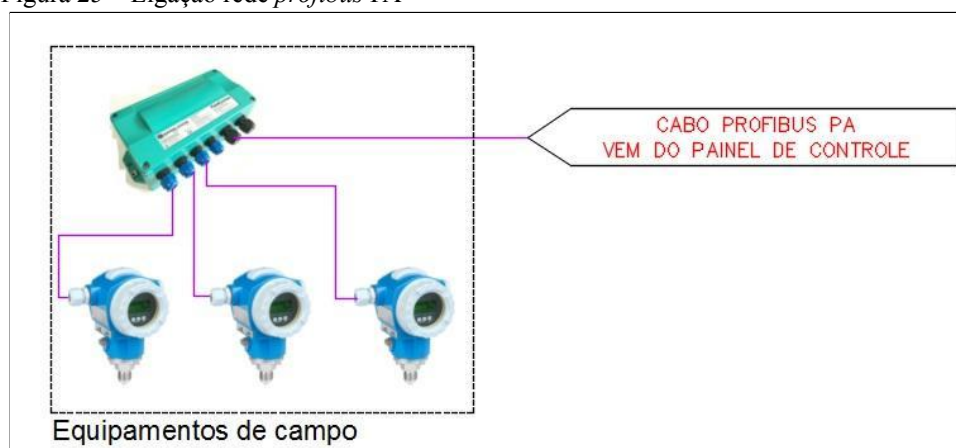


Fonte: Prosoft Technology (2021)

3.2 Dispositivos e instrumentos de campo

Para a instrumentação de campo, conforme mencionado no item 4.1, os instrumentos são classificados para área intrínseca, porém, para facilitar a instalação, são utilizadas barreiras de campo que desempenham muitos papéis importantes. Servem como um ponto de conexão de dispositivo conveniente, visando à diminuição da quantidade de cabos, e fornecem proteção contra falhas do dispositivo e do cabo de derivação. Além disso, as saídas intrinsecamente seguras garantem a segurança da planta. A Figura 25 apresenta um esquema típico de ligação em *profibus PA* utilizando barreiras de campo.

Figura 25 – Ligação rede *profibus PA*



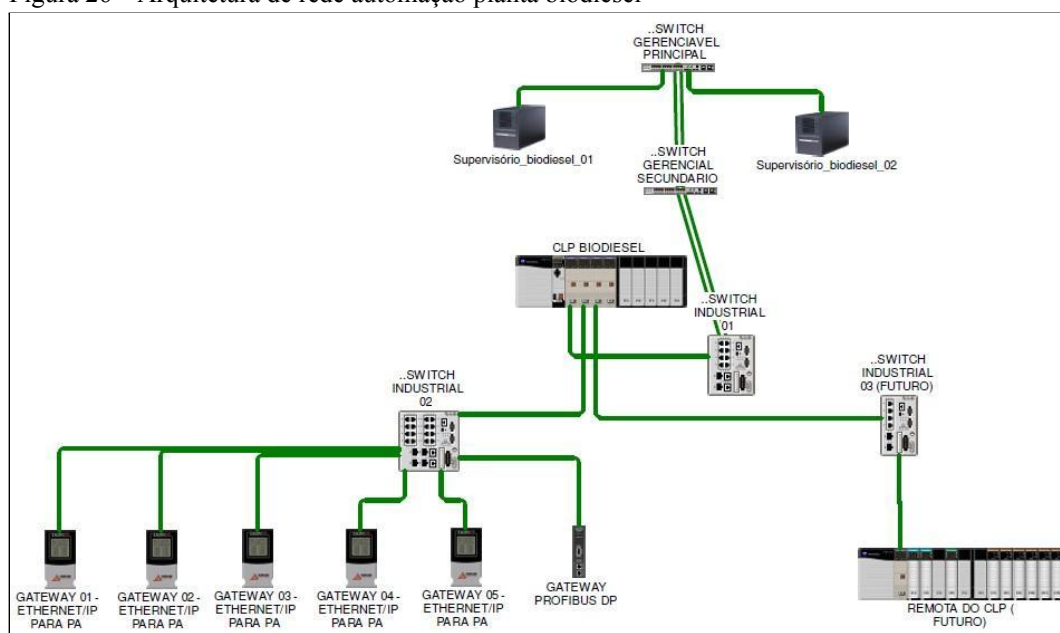
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.3 Arquitetura de rede

Antes de validar o sistema proposto, foi necessário elaborar uma arquitetura de rede para configuração de todos os dispositivos, para então obter uma visão geral do projeto completo. A arquitetura da rede está relacionada em que os dispositivos são interligados, sendo dividida em topologia física e lógica. A topologia física refere-se ao layout da rede, representando como os nós estão conectados. A topologia lógica está relacionada com a maneira que os nós se comunicam através do meio físico.

Com o auxílio do software da *Rockwell* (IAB), *Integrated Architecture Builder* foi possível projetar sistemas em uma interface gráfica. Nele foram adicionados e interligados todos os componentes. Esse ambiente de simulação é de grande valia, pois ajuda a reduzir os riscos e a implantar com êxito as tecnologias mais recentes e otimizadas, podendo ser testada, validada e documentada. Na Figura 26 é apresentada a arquitetura de rede desenvolvida para o processo de biodiesel.

Figura 26 – Arquitetura de rede automação planta biodiesel



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.4 Diagrama elétrico

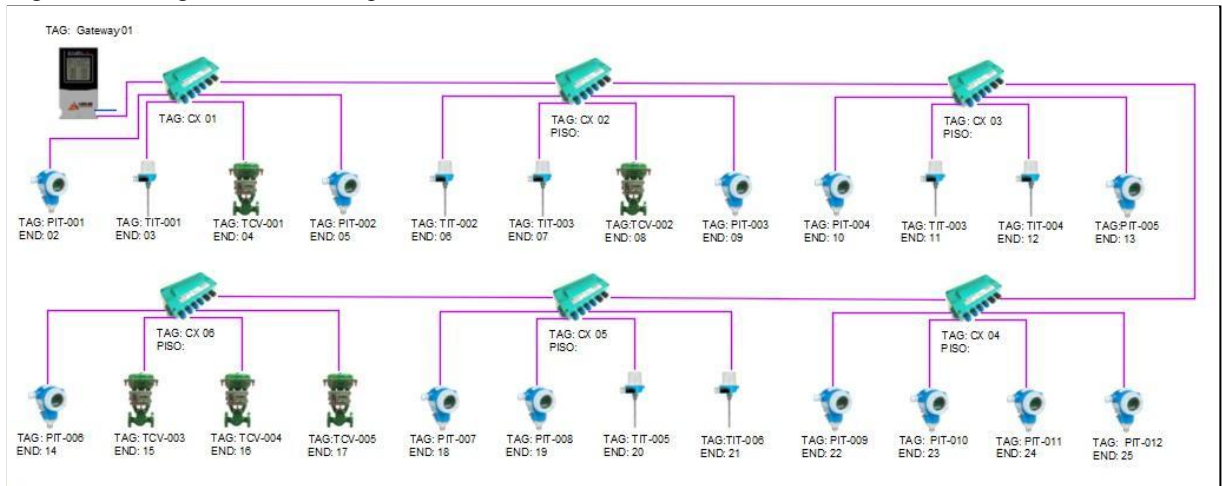
O diagrama elétrico é fundamental para a criação e o endereçamento dos instrumentos para desenvolvimento da lógica e elaboração de telas para supervisorio.

A rede *profibus PA* possui particularidades quanto à instalação física, pois os *gateways* do projeto suportam até 24 instrumentos, porém há um fator impactante, que é a distância máxima dos cabos da rede PA.

O *profibus PA* é um sistema de comunicação industrial e é amplamente influenciado pela escolha do meio de transmissão disponível. O modelo mais utilizado na transmissão PA é a transmissão síncrona em conformidade com a norma IEC 61158-2, o qual possui uma taxa de transmissão definida em 31,25 Kbits/s. Permite, além de segurança intrínseca, que os dispositivos de campo sejam energizados pelo próprio barramento, possibilitando que a tecnologia seja utilizada em áreas classificadas. Ademais, permite a medição e o controle por uma linha a dois fios simples, possibilitando a manutenção e a conexão/desconexão de equipamentos, até mesmo durante a operação, sem interferir em outras estações em áreas potencialmente explosivas.

Na Figura 27 é apresentado o diagrama elétrico disposto do projeto.

Figura 27 – Diagrama elétrico da planta de biodiesel



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.5 Simulação e validação do sistema proposto

Depois de realizadas todas as etapas metodológicas propostas neste trabalho, o sistema proposto foi simulado e validado.

3.5.1 Programação do controlador lógico programável

A primeira etapa foi a comunicação dos dispositivos com os equipamentos desejados. Também deverão ser definidas as variáveis de supervisão e controle, que são chamadas de *Tags* (etiquetas) e possuem informações como endereço dentro do CLP.

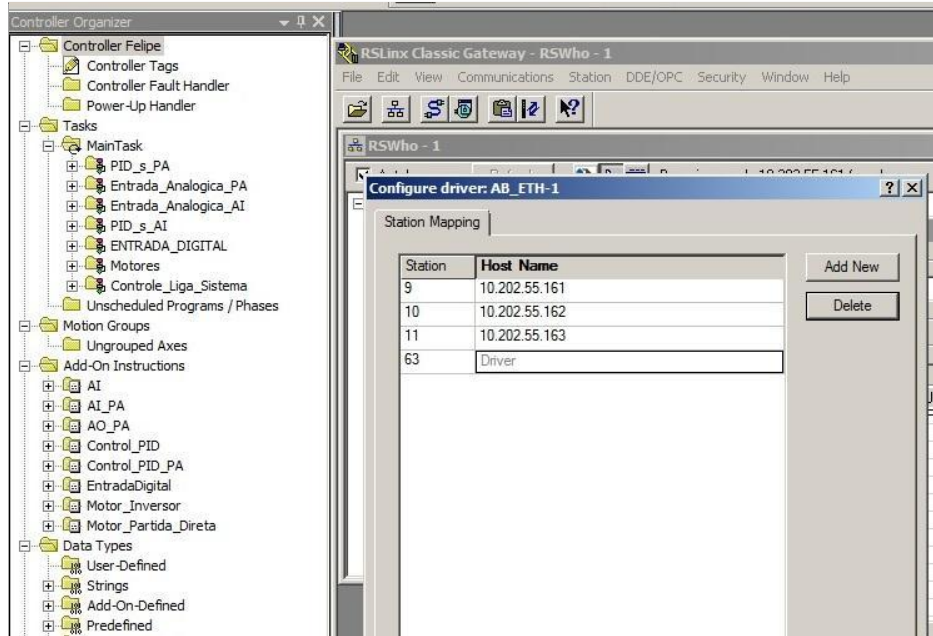
O *RSLogix 5000* foi o software utilizado neste trabalho para o desenvolvimento da lógica do CLP. Esse software é usado na indústria para a programação de controladores da plataforma *Logix 5000* (*ControlLogix®*, *CompactLogix®*, *FlexLogix®*, *SoftLogix5800®* e *DriveLogix®*) da fabricante *Allen-Bradley*, ele fornece lógica *ladder*, texto estruturado, diagrama de blocos de funções e editores de diagramas de funções sequenciais para desenvolvimento de programas e suporte para inúmeras aplicações.

O primeiro passo realizado neste software foi a criação de um novo projeto. Feito isso, foram configurados a CPU, os cartões *ethernet/IP* e os drivers de comunicação *profibus*, sendo eles em protocolo *ethernet/IP* foi elaborada uma lista de IP's para cada dispositivo e configurados. A Figura 28 mostra a alocação de cada dispositivo no CLP.

Criado o projeto, o primeiro passo de uma lógica de programação no CLP é a criação das *tags* (variáveis presentes na lógica, cujos dados são trocados com o supervisor), assim permite realizar o link entre lógica e supervisor, podendo realizar os testes de simulação do

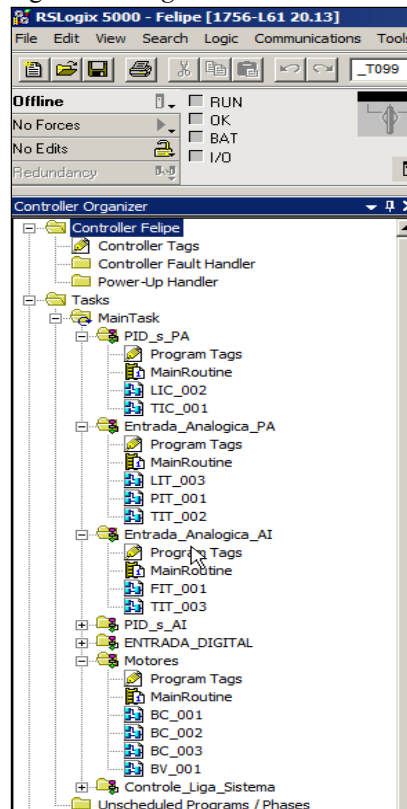
sistema e validá-lo. Na Figura 29 são apresentados os *tag's* criados dentro do CLP para comunicação com o supervisor.

Figura 28 – Configuração dos cartões no CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 29 – *Tag's* criados no CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

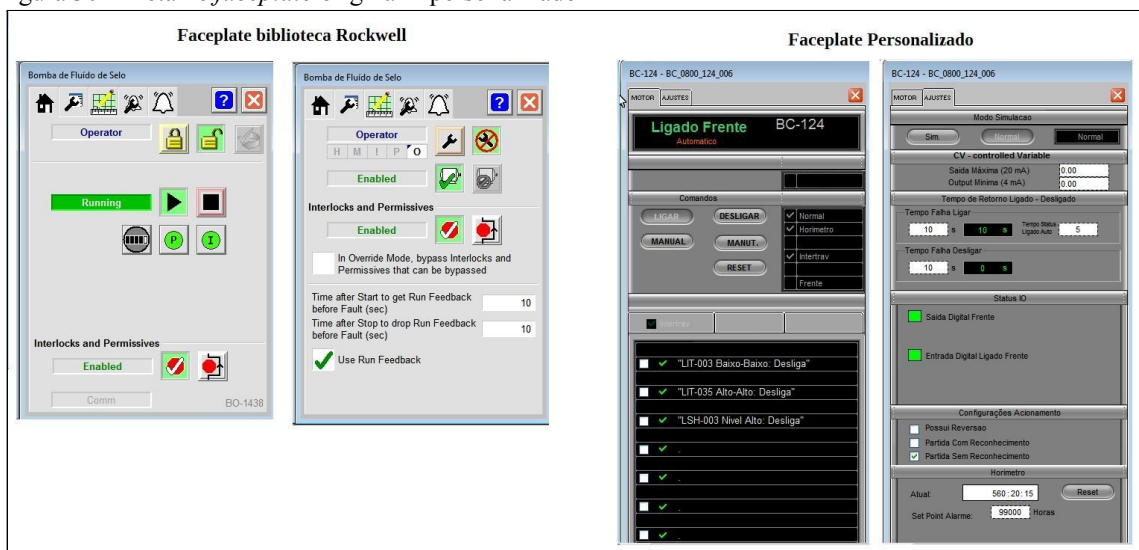
3.5.2 Desenvolvimento da tela de supervisor

A segunda etapa foi o desenvolvimento das telas de supervisor utilizando o software *Factory Talk View* no qual foi utilizada a biblioteca *Rockwell Automation* de objetos de processo - *Rockwell Automation Library of Process Objects*, desenvolvida pelo fabricante *Allen Bradley*. A biblioteca dos objetos de processo é predefinida por códigos de controle, elementos de exibição e *faceplate*, que informa os dados do equipamento, na qual aplicações com funções e desempenho altos podem ser desenvolvidos rapidamente de acordo com os padrões internacionais de automação (como cor, função e simbologia). A biblioteca possui uma estrutura predefinida para motores, válvulas, atuadores, sensores e outros elementos necessários para automação. Todas as estruturas definidas são voltadas para integração direta entre o programa no CLP e o sistema supervisor. Para a interação do programa com o sistema supervisor são necessários três itens:

- Bloco de função predefinido, utilizado no programa do CLP;
- Objeto global que representa o dispositivo que se pretende acionar;
- *Faceplate*, possui todas as informações disponíveis ao operador.

Os *faceplates* da biblioteca da *Rockwell* são disponibilizados no padrão americano, em vista disso, buscando aprimorar a aplicação, foram elaborados os *faceplates* personalizados com o intuito de facilitar o entendimento e manuseio por parte dos operadores. Na Figura 30 são apresentados o *faceplate* original da *Rockwell* e o *faceplate* personalizado.

Figura 30 – Detalhe *faceplate* original x personalizado

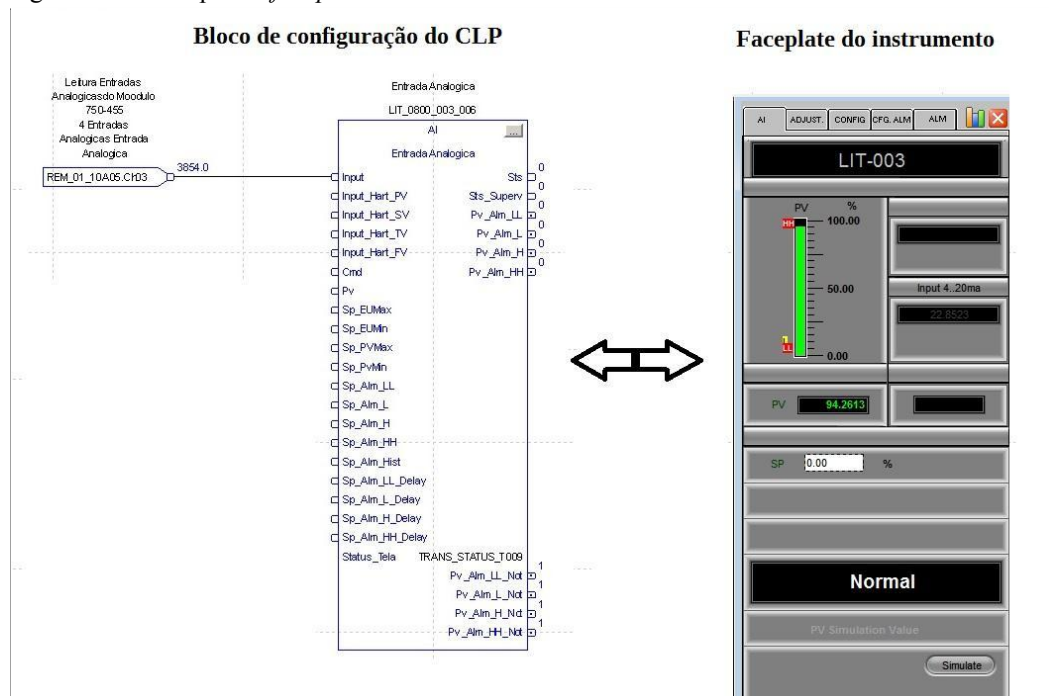


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na Figura 31 é apresentado um exemplo de interação entre programa e supervisor para representação de um instrumento.

Um bloco de função de controle é utilizado no programa no CLP, e um objeto global, simboliza um *faceplate*. O bloco de função no CLP é responsável pela lógica de funcionamento do instrumento, comunicando-se com o equipamento em campo, enquanto o objeto global representa o seu estado e serve de ligação entre o bloco no programa e o *faceplate*. Já o *faceplate* é referenciado através do objeto global, ou seja, quando pressionado realiza a chamada do *faceplate* e permite ao operador interagir diretamente com o instrumento, realizando ações como, leitura de estado, configuração de alarmes, entre outras funções.

Figura 31 – Exemplo do *faceplate* e bloco do CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

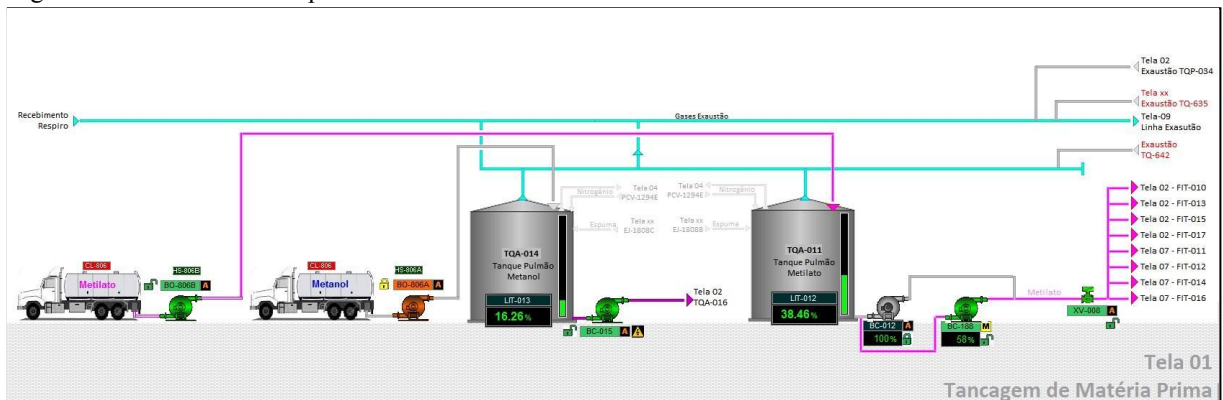
Para expressar e compreender a função dos itens presentes no supervisor, um padrão de indicador de cor é definido para sinalizar os vários estados que um objeto pode ter. Sendo eles:

- Cor cinza: utilizada para representar um objeto que não recebeu nenhum comando, como por exemplo um motor que tem seu estado desligado;
- Cor Vermelha: utilizada para representar um estado falha de equipamento, como por exemplo quando solicitado para ligar um motor e o disjuntor está desarmado;

- Cor Verde: utilizada para representar um objeto que esteja em funcionamento, como por exemplo um motor ligado;
- Cor Amarela: utilizada para representar um equipamento que está em manutenção;
- Cor Laranja: utilizada para representar um equipamento que está intertravado, por exemplo, um motor aguardando alguma condição para ligar.

O desenvolvimento do *layout* do supervisório é baseado no fluxograma de processo da planta de biodiesel, nele consta o diagrama de tubulação e instrumentação. A produção de biodiesel é um processo complexo, por essa razão, as telas do supervisório são divididas para melhor entendimento. Na Figura 32 é apresentada a primeira tela do supervisório, onde são mostrados os tanques de matéria-prima, responsável pelo início do processo.

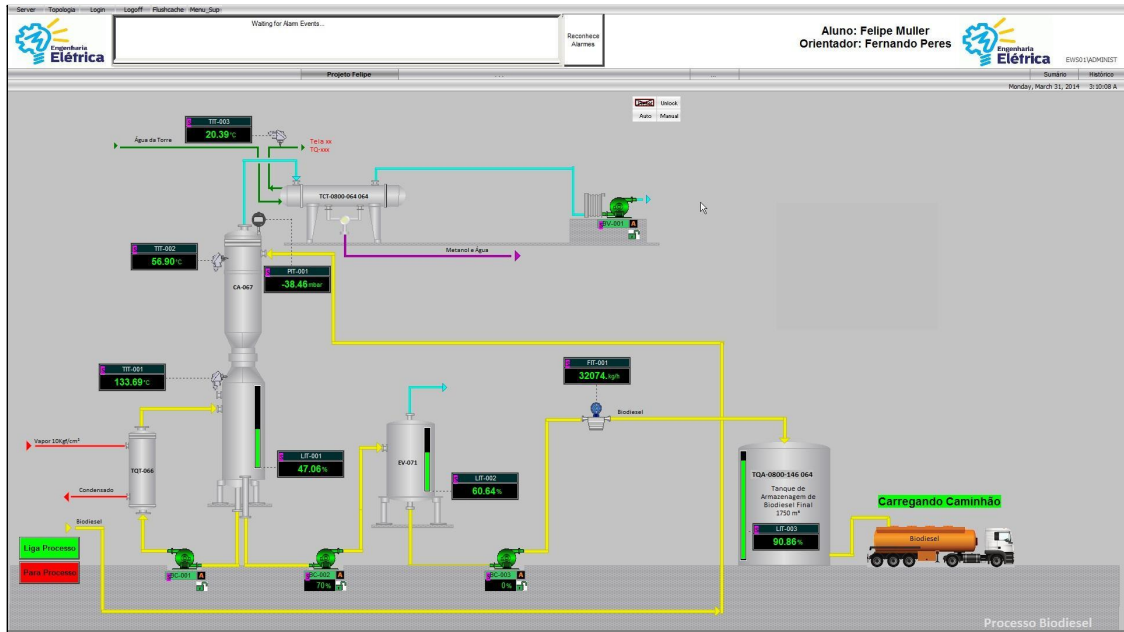
Figura 32 – Tela de matéria prima



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na Figura 33 é apresentada a última tela do supervisório, onde finaliza-se o processo de biodiesel.

Figura 33 – Tela final do processo de biodiesel



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

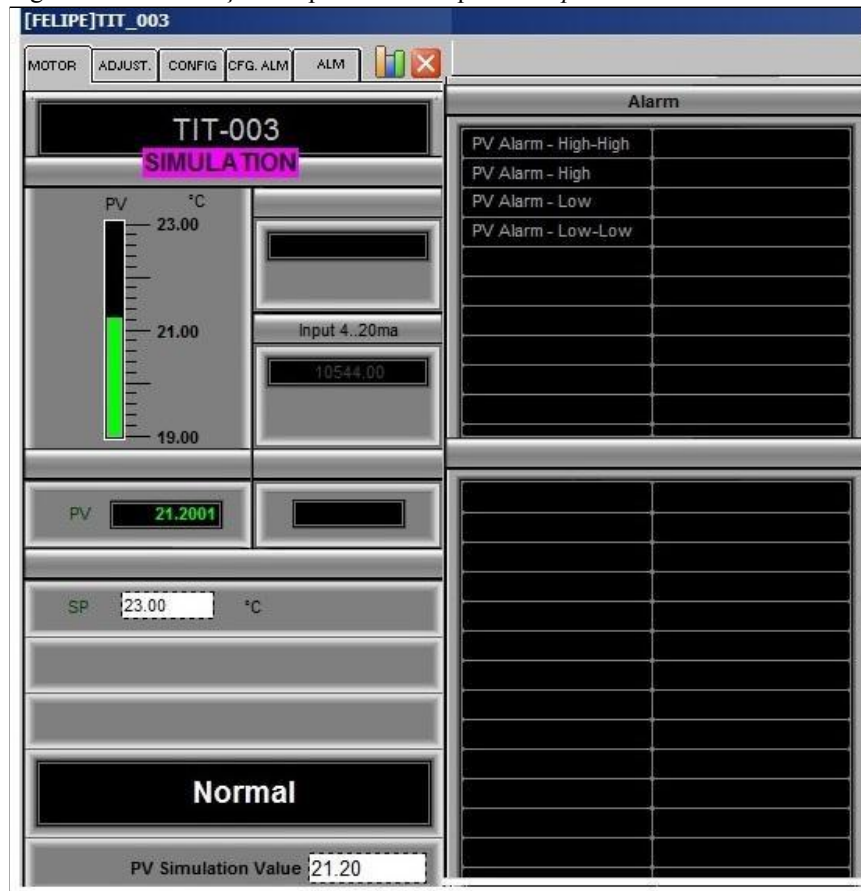
A rede *PA* disponibiliza no supervisório as seguintes informações:

- Status online: informa quando o instrumento não está mais online e não está trocando mais dados cíclicos;
- Configuração: informa se houve alguma falha na configuração do instrumento. Ex: Endereço foi parametrizado corretamente, porém não está recebendo configuração de informação da faixa de medição do instrumento;
- Aviso de diagnóstico: exibe quando o instrumento de campo tem alguma mensagem de parâmetro extra para ser configurada. Ex: Medidor de nível por radar, configuração do endereço e *range* ok, porém não foram configurados dados do tanque;
- Falha de parametrização: informa que o instrumento não foi parametrizado corretamente. Ex: Instrumento medindo pressão negativa e está configurado com *range* para pressão positiva;
- Falta de parametrização: o instrumento não recebeu sua parametrização;
- Valor congelado: informa quando o parâmetro de congelar valor da variável de processo foi habilitado;
- *Wachtdog*: informa se o parâmetro está habilitado ou desabilitado.

O protocolo *hart* informa somente a leitura 4-20 mA. Conforme demonstrado na Figura 35, podemos apenas definir e visualizar alarmes, mas é possível notar que os dados relatados pela rede *profibus PA* não aparecem no *hart*.

O ambiente de contato entre o operador e o processo é a tela de supervisão. No monitoramento, além de gerar relatórios e interfaces para controle de receitas e funções avançadas, também é permitido configurar os valores de alarmes e eventos. Os alarmes são uma das funções mais importantes do sistema, pois enviam mensagens sobre o sistema para avisar o operador de condições específicas pré definidas pelo usuário, para que o operador possa evitar falhas no processo. Além disso, o sistema possui uma ferramenta que pode ser usada para visualizar o histórico do processo e resumos de alarmes. A Figura 36 apresenta o gráfico da variável do processo.

Figura 35 – Informações disponibilizadas pelo *Faceplate 4-20 mA hart*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 36 – Gráfico das variáveis de processo

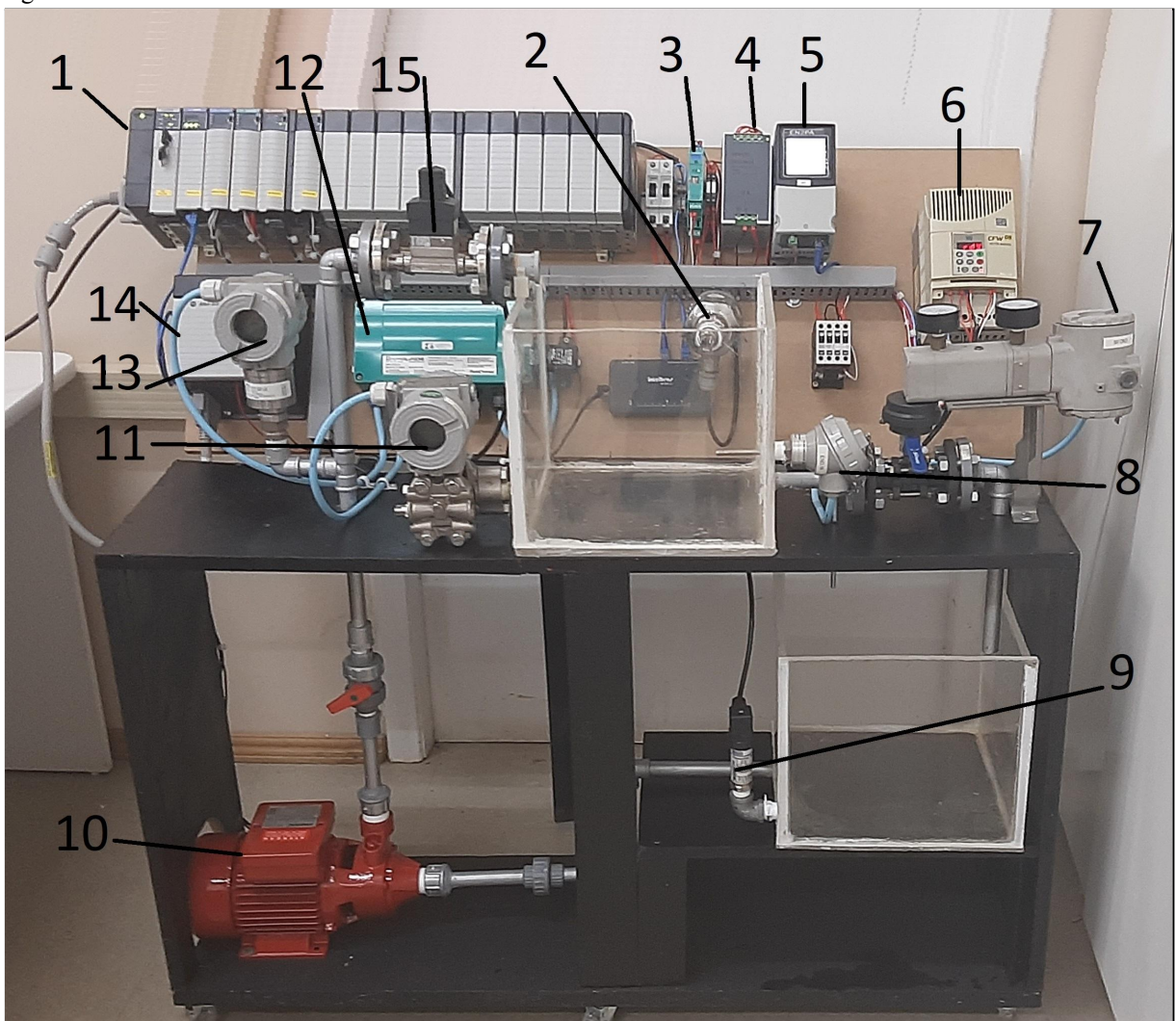


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2 Teste em bancada da comunicação entre os instrumentos

Para execução dos testes da automação foi fundamental a montagem de uma bancada em laboratório, Figura 37. Esta bancada tem por finalidade propor um método de controle do volume de líquido em dois tanques de água, usando instrumentos em protocolo *profibus pa* e *hart* sendo possível monitorar o comportamento das variáveis em tempo real e compará-las. Realizando os ajustes relacionados a cada aplicação, este método pode ser destinado a qualquer sistema de controle de nível, proporcionando buscar um conhecimento mais aprofundado referente aos controles automáticos.

Figura 37 – Bancada de testes



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

No Quadro 4 é apresentado os principais equipamentos do sistema:

Quadro 4 – Equipamentos da bancada

Equipamento	Descrição
1	CLP
2	Chave de nível alto
3	Barreira Intrínseca
4	Fonte
5	<i>Gateway profibus pa</i>
6	Inversor de Frequência
7	Posicionador <i>profibus pa</i>
8	Transmissor de temperatura <i>profibus pa</i>
9	Transmissor de nível 4-20 mA
10	Motor elétrico
11	Transmissor de nível <i>profibus pa</i>
12	Barreira de campo <i>profibus pa</i>
13	Transmissor de pressão <i>profibus pa</i>
14	Fonte do CLP
15	Transmissor de vazão 4-20 mA

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Nessa etapa também foi realizada a comunicação entre os dispositivos e o CLP, além das configurações das entradas e saídas analógicas e a parametrização do inversor de frequência para controle de velocidade, e por fim, foram criadas intertravamentos de funcionamento sob a qual o sistema só pode funcionar quando todas as condições do processo estiverem normais.

As ferramentas empregadas no desenvolvimento do supervisório puderam ser testadas, constando que para um usuário inicial o sistema de supervisório oferece um meio auto explicativo, pois permite a navegação entre os intertravamentos do sistema, e para o setor de manutenção possibilitando uma compreensão rápida dos diagnósticos de falhas.

A utilização de *faceplates* permite que alterações e ajustes sejam feitas diretamente no sistema supervisório, sem a necessidade de alterações diretas no programa do CLP, que normalmente seriam realizadas pelo programador.

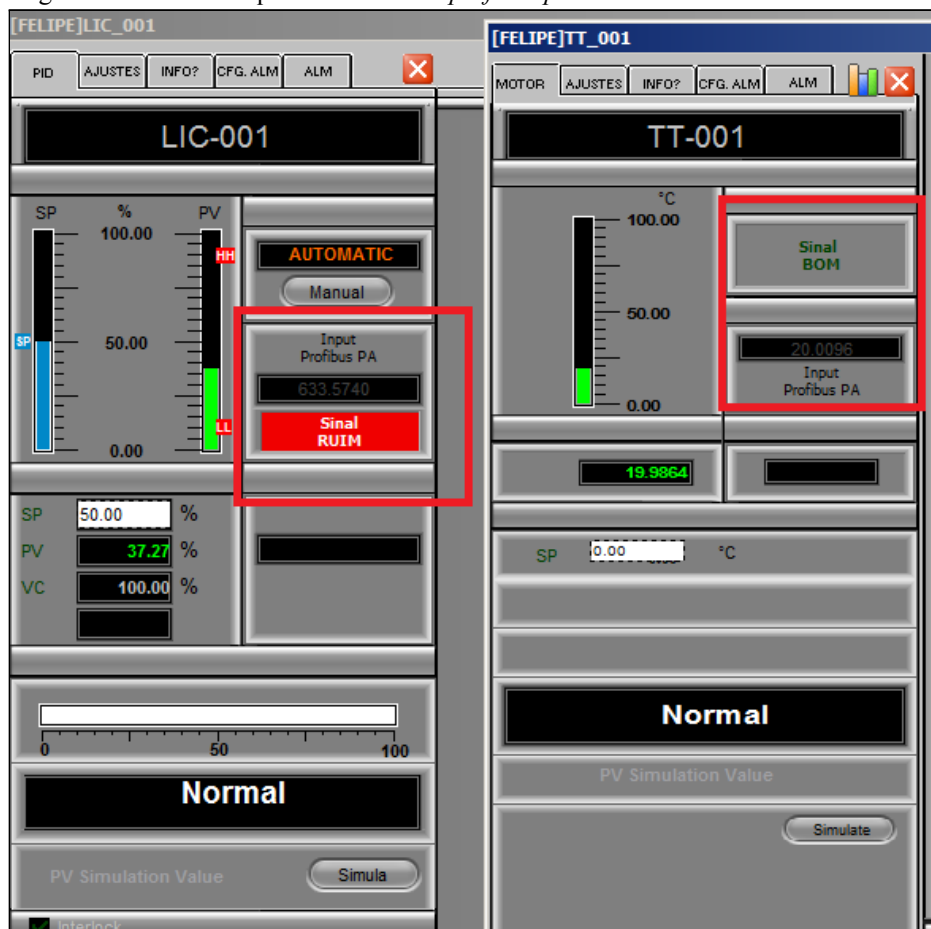
Após a configuração dos status dos instrumentos em *profibus pa* e *hart* na lógica do clp, pode-se observar algumas diferenças com a complexidade de configuração, pois o protocolo *hart* por ter menos dados a ser coletados a configuração é mais simples, pois realiza a leitura direta com o instrumento, enquanto o *profibus* utiliza dois grupos. O primeiro apresenta a qualidade do sinal, onde informa como está o estado do instrumento, nos quais são:

- Bom: a qualidade do sinal está boa. O instrumento está em perfeitas condições de funcionamento e a variável do processo é confiável;
- Instável: a qualidade do valor é menor que a normal, mas o valor pode ainda ser útil;
- Ruim: a qualidade do sinal é baixa, informando que há anomalias com o instrumento ou falha na comunicação.

Para que as informações sejam coletadas no supervisório, um status da qualidade do sinal de cada instrumento foi utilizado, onde o gateway envia uma sequência em números decimais, informando qual a sua qualidade do sinal, sendo o valor de 0 até 64 como sinal ruim, de 65 a 128 sinal instável e de 129 até 255 sinal com qualidade boa.

A Figura 38 exemplifica o status mostrado no supervisório de um transmissor de nível com sinal ruim (à esquerda) e um transmissor de temperatura com sinal bom (à direita).

Figura 38 – Status da qualidade do sinal *profibus pa*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O segundo grupo de status se baseia em informar mais detalhadamente como está o funcionamento do instrumento, no entanto para coletar estas informações para retransmitir ao

supervisório, também utiliza-se uma sequência em números decimais (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128) de acordo com o estado mostrado na figura abaixo. Sendo 1 para online, 2 para falha, 4 para aviso de diagnóstico, e assim por diante.

Figura 39 – Configuração status variáveis *profibus pa*

[-] PAR01:IA.FieldDevice00	{...}	{..	
[+] PAR01:IA.FieldDevice00.PANode	15		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.OnlineRunning	1		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.ConfigFault	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.ExtDiagAvail	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.ParameterFault	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.ParamaterReq	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.FreezeMode	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.SyncMode	0		Decimal
PAR01:IA.FieldDevice00.WatchDog	0		Decimal
[+] PAR01:IA.FieldDevice00.PAIdent	16#04c2		Hex
[-] PAR01:IA.FieldDevice00.Data	{...}	{..	
PAR01:IA.FieldDevice00.Data.PVReal1	-0.7292669		Float
PAR01:IA.FieldDevice00.Data.PVReal2	774.1655		Float
PAR01:IA.FieldDevice00.Data.PVReal3	0.0		Float
PAR01:IA.FieldDevice00.Data.PVReal4	0.0		Float

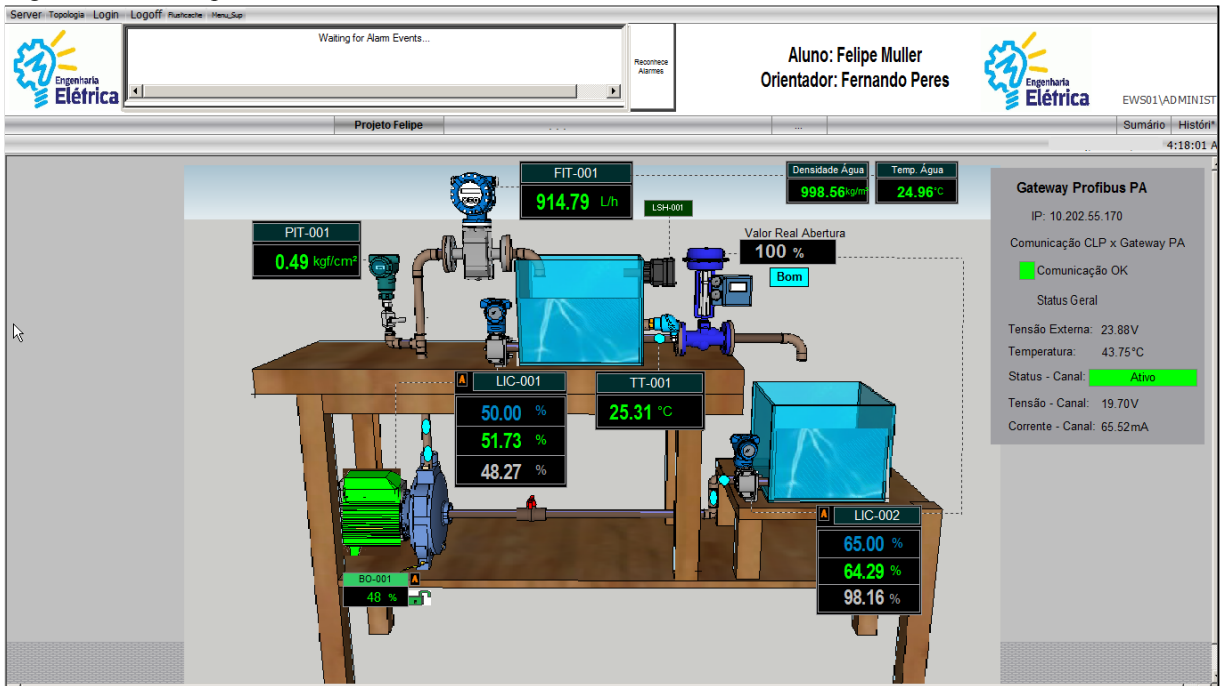
Fonte: Rockwell (2021)

Outra grande vantagem de usar o *profibus pa* está nas válvulas de controle, pois além de enviar o sinal de comando para a válvula, o retorno do valor real de abertura ou fechamento é informado no supervisório, se a variável controlada for diferente do *set point* este desvio é sinalizado fornecendo assim maior confiabilidade e precisão para o sistema, enquanto no protocolo *hart* o sinal é enviado mas não é obtido nenhum retorno.

Para a análise dos resultados e monitoração foi elaborado o sistema supervisório, Figura 40, que demonstra os alarmes, bem como as informações dos diagnósticos dos sensores da bancada. Portanto, o supervisório permitiu a monitoração das variáveis do processo e também atestou que o sistema proposto de automação pode ser implantado. A implementação da lógica dos tanques de água pelo controle de PID podem ser considerados diferenciais para uma rápida e melhor estabilidade de controle do processo.

O resultado da automação do processo verificado pela tela do supervisório, demonstra aplicabilidade da automação também para fins didáticos. A programação completa e comentada pode ser encontrada no anexo B.

Figura 40 – Tela supervisorio da bancada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um estudo do protocolo *profibus* sobre um sistema de automação industrial, em comparação a outros protocolos de comunicação. Nesse sentido, compreendeu a análise das características das redes em que foi desenvolvido um supervisório de controle do processo de produção de biodiesel, com o intuito de identificar as alternativas oportunas para a aplicação nesse contexto.

De modo geral, foi possível observar as características de uma rede *profibus* em relação a uma rede convencional de 4 a 20 mA, como apresentado no Quadro 3. A rede *profibus PA*, além de aumentar a flexibilidade da planta, facilitando a manutenção, possibilita visualizar na tela do supervisório todas as suas variáveis, inclusive calibrar o instrumento sem a necessidade de remoção do local, evitando paradas constantes do processo. Já o equipamento operando com o protocolo *hart* depende da retirada do instrumento do processo para realizar a calibração, impactando no volume de produção.

A rede *ethernet/IP* é uma rede bastante eficaz, porém pelo fato de diversos fabricantes não evoluírem na tecnologia, as aplicações para uso industrial são limitadas, porque os conectores e os cabos podem sofrer deteriorações devido às condições mais severas, torna-se desinteressante seu uso devido aos altos custos de manutenção na rede e substituição de componentes, sendo usada somente na área dos painéis de controle por não necessitar de instalações especiais.

Conclui-se também que a quantidade de cabos e eletrodutos para instalar na rede *profibus PA* é menor, assim o tempo de montagem sofre uma redução considerável, facilitando o *start-up* e o comissionamento.

O projeto desenvolvido neste trabalho contemplou a grande maioria dos elementos de um sistema completo de controle de automação e supervisão de uma planta de produção de biodiesel, simulando os dados das variáveis, volume, temperatura, vazão etc. A simulação permitiu validar a comunicação entre CLP e supervisório, evitando erros na implementação futura na prática.

O controle via supervisório proporciona verificação em tempo real das variáveis e do estado dos instrumentos, sendo notória a viabilidade da rede *profibus pa* em comparação a 4-20 mA, contribuindo para a otimização da produção e manutenção, gerando economia com custos de planta parada.

O supervisório realizado neste trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta de integração entre produção e aprendizagem. A programação pode ser adaptada tanto para outros modelos de controladores lógicos.

5.1 Perspectivas futuras

Seguem algumas propostas para a continuação do presente trabalho:

- Sugere-se para próximos trabalhos a implementação de redes *AS-I* para válvula On-Off realizando um comparativo com a instalação tradicional.
- Projetar uma arquitetura de comunicação entre todos os drivers de motores em rede Ethernet/IP, por ser uma rede de fácil complexidade e alta confiabilidade em ambientes internos e comparando com a rede *profibus dp*.
- Realizar uma comparação entre os custos totais necessários para a implantação de cada tipo de rede.
- A implantação da bancada em ambientes educacionais com alguns exemplos de protocolos, pode se tornar uma grande ferramenta para utilização em disciplinas diversas, no eixo de engenharia.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Yolanda Vieira de. **Biodiesel: vantagens, desvantagens e limites a serem superados**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal do Tocantins. Tocantins, 2005.
- ALVES, Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2005.
- ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Anuário estatístico 2019**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2019/2019-anuario-versao-impressao.pdf>. Acesso em: mar. 2021.
- ARCANJO, Jaime Silva. **Protocolo de comunicação profibus para redes de automação e sistemas de controle industriais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- BIRCHAL, M. A. de Souza Birchall e V. S. **Automação de uma planta de produção de biodiesel**. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:soq4C4HLRZoJ:https://unibh.emnuvens.com.br/dcet/article/download/1091/622+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: mar. 2021.
- BRASIL, Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016. **Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, 24 de março de 2016.
- CASSIOLATO, César; ALVES, Evaristo. **Mecatrônica Atual** - Ano 5 - Edição 26 - Fev/Mar, 2006.
- CASSIOLATO, César. **Tecnologia Profibus**, 2012. Disponível em: <https://www.instrumatic.com.br/artigo/tecnologia-profibus>. Acesso em: abr. 2021.
- Gerenciamento de ativos e auto-diagnose**. Controle & Instrumentação, Edição 123, 2007. Disponível em: <https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/posicionadores-e-diagnosticos>. Acesso em: mar. 2021.
- Medição de nível & nível de interface**. Controle & Instrumentação, Edição 110, 2005. Disponível em: <https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/medicao-de-nivel>. Acesso em: abr. 2021.
- Medição de temperatura**. Controle & Instrumentação Edição 93, 2004 Disponível em: <https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/medicao-da-temperatura>. Acesso em: mai. 2021.
- CESAR, Aldara da Silva *et al.* **The prospects of using *acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil**. Renew Sustain. Energy Rev. 49, págs. 1213-1220. Ano 2015.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial**: Controle e Movimento de Processos. 3ª ed. São Paulo: Ed. ÉRICA, 2013.

D'AGOSTO, Márcio de Almeida *et al.* **Evaluating the potential of the use of biodiesel for power generation in Brazil**. *Renew Sustain. Energy Rev.* 43, págs. 807-817.

DEFANTI, Leonardo S.; SIQUEIRA, Nathalia S.; LINHARES, Paolla C. **Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes**. Trabalho conclusão de curso. Universidade Petrobras Fluminense. Rio de Janeiro, 2010.

EMERSON PROCESS. **Atuador de diafragma pneumático Fisher™ 3024C**. Disponível em: <<https://www.emerson.com/pt-pt/catalog/fisher-3024c>>. Acesso em: jun. 2021.

ENDRESS+HAUSER: **Instrumentos de medição e controle - Transmissor de campo de temperatura**. Disponível em: <<https://www.br.endress.com/pt/produtos/temperatura/temperatura-sensor-robusto>>. Acesso em: abr. 2021.

FELÍCIO, Luiz Carlos. **Modelagem da dinâmica de sistemas e estudo da resposta**. 2º ed. São Carlos: RiMa, 2010.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luis Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis**: Sistemas discretos. 2ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2008.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8º ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

HAIGHT, Joel. **Automation vs Human Intervention. What is the Best Fit for the Best Performance**. New York: Ed. Springer, 2017.

HELFRICK, Albert D. **Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques**. Tradução de Antônio Carlos Inácio Moreira. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1990.

INSTRUMATIC Instrumentation Experts. **Medição de nível**, 2014. Disponível em: <<https://www.instrumatic.com.br/artigo/medicao-de-pressao-caracteristicas-tecnologias-e-tenencias>>. Acesso em: mar. 2021.

INSTRUMATIC Instrumentation Experts. **Tecnologia Profibus**, 2012. Disponível em: <<https://www.instrumatic.com.br/artigo/tecnologia-profibus>>. Acesso em: abr. 2021.

MATHIAS, Arthur Cardozo. **Válvulas: Industriais, Segurança e Controle**. Editora Artliber, 2014.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.

NEVES, Cleonor *et al.* **Os dez maiores desafios da automação industrial: As perspectivas para o futuro**.

Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10140228-Os-dez-maiores-desafios-da-automacao-industrial-as-perspectivas-para-o-futuro.html>>. Acesso em: mar. 2021.

OLIVEIRA, Walker Bastos de *et al.* **Automação do gerenciamento de energia elétrica em uma planta industrial.** Simpep, Bauru –SP, 2014.

OLIVEIRA, Murilo Trindade de. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados via USB utilizando termopares.** 2008. 80 f. Monografia (Graduação Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PFAFFENZELLER, Roberto Egon. **Estudo de substituição de uma malha de instrumentação industrial com protocolo hart por uma rede profibus PA.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2014

SHERIDAN, Thomas B. **Telerobotics, automation, and human supervisory control.** Primeira. [S.l.: s.n.], 1992.

SILVA, W. L. Associação **Profibus Brasil.**, 2019. Disponível em: <http://www.profibus.org.br/artigos_tecnicos/diretrizes-para-projeto-e-instalacao-dere-des-profibus-dp>. Acesso em: mar. 2021.

SILVA, Douglas Souza da *et al.* **Análise do Impacto da Automação da Movimentação Interna na Produtividade Industrial.** Espacios. Vol.35 (Nº 4) Ano 2014. Pág. 18. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a14v35n04/14350418.html>>. Acesso em: mar. 2021.

SILVEIRA, Paulo Rogério. **Automação e Controle Discreto.** 1ª ed. São Paulo: Ed Érica, 1999.

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson Eugenio dos. **Automação e controle discreto.** 7ª ed. São Paulo: Ed Érica, 2006

SOLOMAN, Sabrie. **Sensors and Control Systems in Manufacturing.** Segunda edição. McGraw-Hill Education, Columbus, OH 43218: [s.n.], 2010.

SUNIT, Kumar Sen. **Fieldbus and Networking in Process Automation.** CRC Press, 2014.

TAN, Yie Hua *et al.* **Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions.** Revista Energy Conversion and Management, v.132, p. 54-64, 2016.

TUTAK, Wojciech *et al.* **A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine, Applied Thermal Engineering.** Revista Applied Thermal Engineering, v.117, p. 155-163, 2017.

VIVACE PROCESS INSTRUMENTS. **Medição e malhas de controle de nível,** 2020. Disponível em: <<http://www.vivaceinstruments.com.br/pt/artigo/medicao-malhas-de-controle-de-nivel>>. Acesso em: mar. 2021.

WAZILEWSKI, Willian Tenfen. **Estudo da Estabilidade do Biodiesel de Crambe e Soja.** Programa de Pós-Graduação na Área de Energia na Agricultura. Paraná, 2012.

Yu, P. *et al.* **Projeto e implementação de controlador inteligente Profibus-Dp.** 2012. Conferência Internacional sobre Instrumentação e Medição, Computador, Comunicação e Controle. Nova York, 2012.

ANEXO A – Características dos cabos utilizados em *Profibus PA*

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Descrição do Cabo	Par trançado com <i>Shield</i>	Um ou mais pares trançados total com <i>Shield</i>	Diversos pares trançados sem <i>Shield</i>	Diversos pares não-trançados, sem <i>Shield</i>
Área de Seção do Condutor Nominal	0.8mm ² (AWG 18)	0.32mm ² (AWG 22)	0.13mm ² (AWG 26)	0.25mm ² (AWG 16)
Máxima Resistência DC (<i>loop</i>)	44Ω/Km	112 Ω/Km	264Ω/Km	40Ω/Km
Impedância Característica a 31.25 KHz	100Ω ± 20%	100 Ω ± 30%	**	**
Máxima Atenuação a 39 KHz	3dB/Km	5dB/Km	8dB/Km	8dB/Km
Máxima Capacitância Desbalanceada	2nF/Km	2nF/Km	**	**
Distorção de Atraso de Grupo (7.9 a 39 KHz)	1.7µseg/Km	**	**	**
Superfície Coberta pelo <i>Shield</i>	90%	**	-	-
Recomendação para Extensão de Rede (incluindo <i>spurs</i>)	1900 m	1200 m	400 m	200 m

Fonte: Smar (2013)

ANEXO B – Lógica da programação em *Ladder* da automação

