



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO (FATEC-SP)

**DSE - DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS
TECNOLOGIA ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CONTROLE DE SISTEMA DE EXAUSTÃO E FILTRAGEM
COM CLP E INVERSOR DE FREQUÊNCIA**

Leonardo Flaviano Rabelo

RA 19208452

Orientador: Engº José Maurício Sampaio

São Paulo-SP , Junho de 2022.

Ficha Catalográfica

RABELO, Leonardo Flaviano

CONTROLE DE SISTEMA DE EXAUSTÃO COM CLP E
INVERSOR DE FREQUÊNCIA: / Leonardo Flaviano Rabelo, São
Paulo-SP, Junho – 2022.

67 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial –
Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2022.

Orientador: Engº José Maurício Sampaio

1. Controladores, 2. Sensores, 3. Sistemas de exaustão.

TERMO DE APROVAÇÃO

LEONARDO FLAVIANO RABELO

CONTROLE DE SISTEMA DE EXAUSTÃO COM CLP E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Aprovado em: ___ / ___ / ___

Prof. Dr. Victor Sonenberg

Coordenador do curso / Chefe do Departamento de Sistemas Eletrônicos

Engº José Maurício Sampaio

Orientador

Prof. Dr. Leonardo Frois Hernandez

Avaliador

Prof. Me. Ricardo Cardoso Rangel

Avaliador

Dedicatória

Ao meu avô Luiz Rabelo (*in memoriam*) por me inspirar a seguir adiante com os estudos e por seu exemplo de perseverança e honestidade.

“Provai e vede como Deus é bom, é feliz quem n’Ele encontra o seu refúgio”

(Salmo 33)

AGRADECIMENTOS

A Deus, principalmente, por me conceder saúde e sabedoria que tornaram possíveis a conclusão deste trabalho.

À minha mãe Neuza, meu pai Iran, meu irmão Guilherme e toda a minha família pelo apoio e compreensão quando não pude estar presente.

Ao meu orientador Eng° José Maurício Sampaio e ao Eng° Antonio Luis Pereira Filho, por todo o apoio no âmbito tecnológico.

Aos professores e colegas da FATEC-SP por todo o apoio que me deram durante estes anos.

RESUMO

Este trabalho um projeto baseado em estudo de caso e dados de pesquisa-ação, realizada em uma indústria localizada na cidade de Jundiaí-SP. O objetivo geral é nacionalizar aproximadamente 80% (oitenta por cento) da quantidade de componentes utilizados na montagem de um painel de comando composto principalmente por um controlador e um inversor de frequência. Este painel é utilizado em sistemas de exaustão e filtragem industrial. Para isso foi necessário a construção de protótipo de teste de prova de conceito. As etapas deste trabalho, portanto, foram da definição dos requisitos do painel de comando (baseado na descrição e nos parâmetros dos sistemas de exaustão), passando pela construção e demonstração de circuito eletrônico análogo, por meio da determinação da lista de compras dos componentes nacionais, e por fim, a produção de setup para testes do protótipo e validação para produção em escala. Com os resultados obtidos, a expectativa para a conclusão deste projeto, é que o equipamento, a partir do primeiro semestre de 2023, esteja operacional e possa compor o portfólio de produtos da empresa sendo comercializado.

Palavras-chave: 1. Controladores; 2. Sensores; 3. Sistemas de Exaustão.

ABSTRACT

This work is a project based on case study and action research data, carried out in an industry located in the city of Jundiaí-SP. The general objective is to nationalize approximately 80% (eighty percent) of the amount of components used in the assembly of a control panel, mainly composed of a controller and a frequency inverter. This panel is used in industrial exhaust and filtration systems. For this, it was necessary to build a proof-of-concept test prototype. The stages of this work, therefore, were from the definition of the control panel requirements (based on the description and parameters of the exhaust systems), through the construction and demonstration of an analog electronic circuit, through the determination of the shopping list of national components. , and finally, the production of setup for prototype testing and validation for scale production. With the results obtained, the expectation is for the completion of this project, is that the equipment, from the first half of 2023, will be operational and can compose the company's product portfolio being marketed.

Keywords: 1. Controllers; 2. Sensors; 3. Exhausting Systems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
1.2. Justificativa	09
1.2.1. O cenário sob estudo	09
1.2.2. O objeto sob estudo	11
1.2.3. Pesquisa-ação	11
1.2.4. Método	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Sistema de Exaustão e Filtragem	12
2.1.1 Mecânica e pneumática	13
2.1.1.1 Pontos de captação	13
2.1.1.2 Rede de dutos	14
2.1.1.3 Equipamento de filtragem (Filtro)	15
2.1.1.3.1 Corpo do filtro	15
2.1.1.3.2 Elementos filtrantes tipo cartucho	16
2.1.1.3.2.1 Limpeza dos elementos filtrantes tipo cartucho	17
2.1.1.3.3 Acumulador de ar comprimido	17
2.1.1.3.3.1 Limpeza dos elementos filtrantes tipo cartucho	17
2.1.1.3.4 Recipiente coletor	18
2.1.1.4 Exaustor	18
2.1.2 Elétrica (Potência)	20
2.1.2.1 Motor do exaustor	21
2.1.2.2 Painel elétrico	22
2.1.2.2.1 Caixa de montagem	22
2.1.2.2.2 Dispositivos de proteção contra sobrecarga	23
2.1.2.2.3 Componentes de alimentação	24
2.1.2.2.4 Inversor de frequência	28
2.1.2.2.5 Dispositivos de segurança operacional	30

2.1.3 Eletrônica (Automação)	33
2.1.3.1 Controlador 3 em 1	33
2.1.3.1.1 CLP	34
2.1.3.1.2 Interface Homem máquina (IHM)	36
2.1.3.1.3 Gateway	37
2.1.3.2 Sensores de campo	38
2.1.3.2.1 Sensor diferencial de pressão	39
2.1.3.2.2 Pressostato	42
2.1.3.2.3 Sensor capacitivo	44
2.1.3.2.4 Sensor indutivo	47
2.1.3.2.5 Sensor de temperatura PTC	49
2.1.3.2.6 Sensor de vibração	50
2.1.4 Software (Monitoramento e Aquisição de Dados)	52
2.1.5 Conectividade em rede local ou externa	52
3. DESENVOLVIMENTO	53
3.2. Definição da engenharia de requisitos para a nacionalização	53
3.3. Definição de áreas críticas a serem nacionalizadas	53
3.4. Definição dos esquemas elétricos	54
3.5. Definição de material para compra e respectiva aquisição	55
3.6. Montagem e testes	55
3.6.1.1. Fluxograma das atividades	57
4. RESULTADOS	58
5. CONCLUSÃO	59
6. PROJETOS FUTUROS	60
7. REFERÊNCIAS	61
ANEXO I – ABREVIACÕES E ACCRÔNOMOS	

1. INTRODUÇÃO

Um painel de comando é um equipamento que permite ao usuário ter o controle sobre uma máquina ou sistema, e deste modo configurar as operações de um ou mais equipamentos a partir dos recursos disponíveis no painel. Em um sistema de exaustão e filtragem o painel de comando exerce uma função fundamental pois dele partem todos os comandos para atividade do motor do exaustor.

O objetivo geral deste trabalho é o projeto de nacionalização de um painel de partida e comando destinado a sistemas de exaustão e filtragem industrial. Este painel (cujo projeto e produção originais são de uma unidade da empresa na Europa) possui um controlador que integra três funções em um mesmo dispositivo: tela de interface com o usuário, unidade de processamento e a comunicação com outros dispositivos via rede industrial). O desenvolvimento da versão brasileira foi fruto de uma adaptação pela utilização de componentes de fabricação nacional e do atendimento às normas regulamentadoras locais.

2.2 Justificativa

2.2.1 O cenário sob estudo

A quarta revolução industrial, também chamada indústria 4.0, é uma realidade nos países da Europa, Ásia e nos Estados Unidos. Como muitas empresas no Brasil possuem suas sedes nestes países, há uma necessidade urgente em se adequar a esta nova realidade, tanto devido às solicitações do grupo ao qual as empresas pertencem, quanto devido à competitividade da indústria brasileira, que é diretamente afetada à medida que o seu parque industrial se torna obsoleto.

Segundo matéria da revista digital Infor Channel, um estudo da ABII (Associação Brasileira de Internet Industrial), entidade sem fins lucrativos que promove o crescimento da internet industrial e indústria 4.0 no Brasil, realizado em 2016; revelou que 42% do setor industrial brasileiro é favorável a este novo cenário e tem como planejamento a implementação de projetos que envolvam a chamada IIoT (*Industrial Internet of Things*: Internet das Coisas para fins industriais) nos próximos dois ou três anos.^[1]

Tendo em vista a época da realização deste estudo, estas empresas que em 2016 já planejavam inserir-se no novo cenário do mercado mundial, hoje já ocupam outro patamar, pela implementação de seus projetos.

Esta realidade permite inferir que há então uma nova divisão entre as empresas do mercado nacional; o primeiro grupo formado pelas empresas que buscam atualização tecnológica, desenvolvimento e formação de conhecimento e um segundo grupo (que ainda é a maioria) formado por empresas que ainda resistem às atualizações propostas pelo mercado mundial.

Diversos motivos levam as empresas e os profissionais a resistirem às inovações, ou seja, a conservarem seus modos de produção, de gestão e seus equipamentos sem qualquer alteração; atitude conhecida como condição de estagnação. Segundo o mesmo estudo da ABII, 21% das empresas encontram dificuldade de comprovar o ROI (*Return Over Investment* = Retorno sobre o Investimento Financeiro), em 20% dos casos a cultura da empresa é conservadora e 12% das empresas que resistem às inovações tecnológicas encontram esta dificuldade devido à falta de infraestrutura no Brasil. Todo este cenário de dificuldades é também agravado muitas vezes pela falta de recursos. Muitas empresas dependem de capital externo ou de empréstimos para desenvolver suas soluções. Esta é a grande limitação que aumenta a insegurança quanto ao ROI.

Há empresas que ocupam outro cenário no setor industrial brasileiro. Isso não se deve à abundância de recursos, mas sim ao planejamento destes ao longo do tempo. São empresas que decidiram investir, além de recursos financeiros, em pessoas, tempo e espaço de suas organizações, visando uma nova realidade de mudanças que surgem cada vez mais rápido.

De acordo com o estudo citado, entre os principais motivadores para a implementação da Internet Industrial na manufatura, chama atenção o fato de 37% visarem a redução de custos, mesmo que a longo prazo, 29% buscam a atualização como uma vantagem competitiva, 25% desejam aumentar o seu faturamento através da digitalização com IIoT e 18% esperam acelerar o desenvolvimento de novos produtos a partir da implementação destes projetos.

2.2.2 O objeto sob estudo

No âmbito da indústria 4.0 e competitividade da indústria brasileira, que somado à necessidade das indústrias em controlar a atividade de exaustão, filtragem e demais variáveis deste tipo de sistema, surgiu, portanto, o projeto de nacionalização de um painel de comando inicialmente projetado por uma equipe de desenvolvimento que envolveu profissionais das unidades fabris da Alemanha, Polônia e Suécia.

Logo após a criação e validação da versão europeia, o painel de comando foi integrado às instalações de uma unidade na Polônia de modo experimental, e em alguns clientes da empresa na Europa e desta maneira passaram a ter suas operações acompanhadas remotamente.

Esta realidade permitiu inferir que é possível a sua aplicação no Brasil, desde que adaptado às normas brasileiras que em algumas partes diferem das europeias.

Além do painel de comando e respectivo esquema elétrico, foi necessário nacionalizar os sensores de campo, que são elementos fundamentais para que o painel realize as atividades de controle do sistema.

2.2.3 Pesquisa-ação

Baseado em um cenário e objeto de estudo, foi definida uma pesquisa ação para que o produto tivesse as principais características da versão europeia mantidas, porém atendendo às normas brasileiras e às necessidades dos clientes no âmbito da automação e controle.

2.2.4 Método

O estudo de caso com pesquisa-ação baseou-se na literatura das áreas de automação e controle, exaustão industrial, catálogos e manuais de fabricantes e nas referências de especialistas em automação e controle industrial. Para estabelecer quais componentes seriam utilizados na construção do protótipo foi necessário comparar as especificações dos componentes utilizados na Europa e no Brasil, adaptar o diagrama elétrico, adquirir os componentes e realizar a montagem de testes de validação. A validação do protótipo foi realizada por meio de testes experimentais em um sistema de

exaustão montado exclusivamente para esta finalidade e a construção de um circuito eletrônico análogo a um sistema de exaustão com sensores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

a. Sistema de Exaustão e Filtragem

O funcionamento de um sistema de exaustão consiste em remover o ar de um ambiente e deslocá-lo a outro provendo assim a circulação do ar. O sistema de exaustão com filtragem permite que o ar retirado de um ambiente com impurezas, seja filtrado antes de ser lançado a outro local ou a um ambiente externo [2].

Estas impurezas são barradas por componentes feitos de material que permita a passagem do ar, retendo apenas as partículas, e por esta razão são denominados elementos filtrantes.

O acúmulo de partículas nestes elementos permite que, ao longo de algum tempo, o sistema perca a sua eficiência, ou seja, a vazão do ar torna-se menor do que a esperada. Para isso é necessário que se tenha um sistema de limpeza interna dos elementos filtrantes. Esta limpeza geralmente utiliza pulsos internos de ar comprimido a pressões de aproximadamente 6bar.

O sistema de exaustão e filtragem é necessário sempre que houver um processo produtivo que gere partículas que, se inaladas pelos operadores, possam causar danos à saúde [3]. Na figura 01 têm-se um exemplo de um sistema de exaustão e filtragem e suas partes principais.

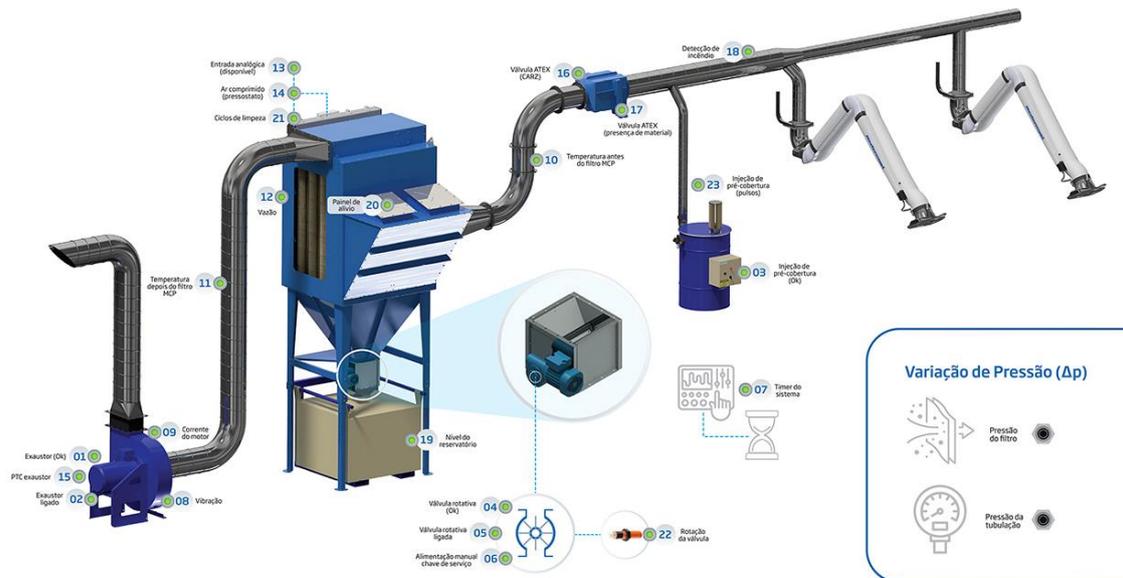


Figura [01]: Representação de um sistema de exaustão e filtragem. [4]

Entre as partes que compõem o sistema estudado, destacam-se as partes:

- Mecânica e Pneumática
- Elétrica (Potência)
- Eletrônica (Automação)
- Software de monitoramento

2.2.1 Mecânica e pneumática

2.2.1.1 Pontos de captação

A melhor forma de entender o funcionamento de um sistema de exaustão e filtragem é entender o fluxo do ar exaurido. Deste modo iniciamos pelos pontos de captação localizados próximos à origem do material a ser captado. Na figura 02 é possível verificar um captor do sistema de exaustão posicionado próximo ao um operador que realiza uma atividade de soldagem.



Figura [02]: Captação de fumos de solda. [5]

2.2.1.2 Rede de dutos

O material captado pelo sistema é conduzido ao filtro por uma rede de dutos. Estes dutos possuem diâmetros entre 100mm a 400mm geralmente. Trata-se de dutos para baixas pressões internas entre 10 e 50mbar e altas vazões a partir de 1.000m³/h. A figura 03 retrata uma rede de dutos em uma aplicação típica relacionada aos pontos de captação em um sistema de exaustão industrial.



Figura [03]: Redes de dutos ligadas aos pontos de captação das máquinas. [6]

2.2.1.3 Equipamento de filtragem (Filtro)

O equipamento de filtragem, também denominado filtro coletor de pó, é um importante elemento de um sistema, conforme demonstrado na figura 04, e dividido entre as seguintes partes: corpo, acumulador de ar comprimido, elementos filtrantes, recipiente coletor de pó e exaustor.



Figura [04] Estrutura completa do filtro tipo cartucho. [7]

2.2.1.3.1 Corpo do filtro

O corpo do filtro é a maior parte do equipamento, pois contém os elementos filtrantes. O ar contendo impurezas, conduzido pela rede de dutos entra no corpo do filtro e estas são retidas nos elementos filtrantes. Na saída do filtro o resultado é o ar limpo e livre de impurezas. A figura 04-A é uma ampliação do desenho do filtro, onde é evidenciado o corpo do filtro.



Figura [04-A]: Detalhe do corpo do filtro.^[7]

2.2.1.3.2 Elementos filtrantes tipo cartucho

O filtro apresentado neste estudo utiliza elementos filtrantes tipo cartucho. Estes elementos podem ser produzidos com vários tipos de materiais (poliéster, poliéster teflonado etc.) Sua função é exclusivamente reter as impurezas contidas no ar exaurido, permitindo apenas a passagem do ar limpo para o ambiente externo do equipamento de filtragem. A figura 05 mostra alguns exemplos de elementos filtrantes utilizados em sistemas de filtragem.



Figura [05]: Elemento filtrante tipo cartucho.^[8]

2.2.1.3.2.1 Limpeza dos elementos filtrantes tipo cartucho

A limpeza dos elementos filtrantes ocorre em ciclos cujos intervalos são pré-definidos pelo controlador do sistema de exaustão. Esta limpeza é uma atividade necessária para garantir a eficiência da filtração. Neste processo são liberados pulsos de ar comprimido a pressões de 4 a 6 bar no interior dos cartuchos. É fundamental que esta pressão esteja regulada de forma adequada para garantir a eficiência da limpeza.

Alguns componentes e medições estão direta e indiretamente relacionados aos ciclos de limpeza. São eles:

- a. Acumulador de ar comprimido; o ar liberado para os pulsos de limpeza provém deste acumulador. Que por sua vez é abastecido por um compressor dedicado.
- b. Manômetro para indicar a pressão do ar no acumulador.
- c. Válvulas pneumáticas para liberação do ar comprimido no interior do cartucho. Estas válvulas geralmente são acionadas por solenoides e bobinas 24Vcc.

2.2.1.3.3 Acumulador de ar comprimido

O acumulador de ar comprimido tem a função de armazenar o ar que será liberado para a limpeza dos elementos filtrantes. Sua função está relacionada à operação de válvulas solenoides que permitem a liberação de pulsos de ar a pressões de 4 a 6bar. O tamanho do acumulador está relacionado à quantidade de válvulas solenoides, necessárias para a limpeza dos elementos. Quanto maior o equipamento de filtração, maior a quantidade de válvulas para limpeza e conseqüentemente, maior o comprimento do acumulador. Na figura 04-B temos uma ampliação da figura 04, dando ênfase à região onde está localizado o acumulador de ar comprimido (componente na cor azul).



Figura [04-B]: Acumulador de ar comprimido (em azul).^[7]

2.2.1.3.4 Recipiente coletor

O resultado da limpeza dos cartuchos é a deposição das partículas em um recipiente coletor. Este recipiente, que é montado sempre na parte inferior do corpo do filtro, geralmente tem capacidade para 50 ou 100 litros, dependendo do tamanho do filtro. Quando o volume de material depositado atingir $\frac{3}{4}$ da capacidade deste recipiente, é necessário parar o sistema de filtragem para que o operador execute o esvaziamento. A figura 04-C demonstra de maneira ampliada o detalhe do equipamento de filtragem onde se encontra o recipiente coletor.

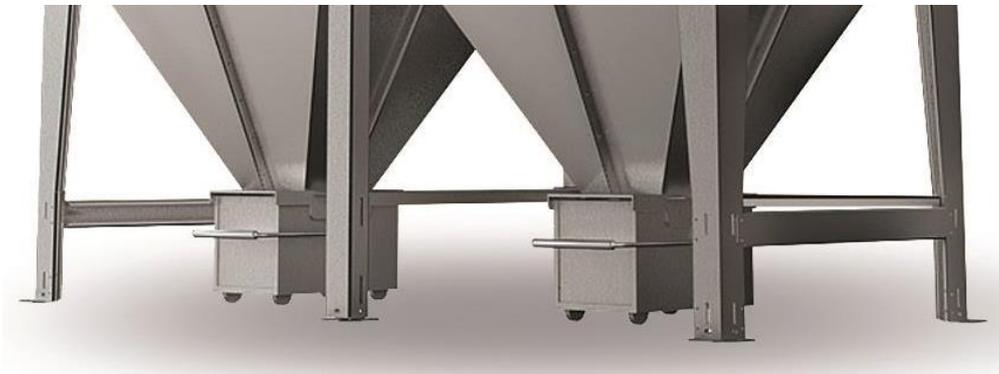


Figura [04-C]: Detalhe do recipiente coletor.^[7]

2.2.1.4 Exaustor

O exaustor é um importante elemento no sistema, pois seu movimento é o responsável pela exaustão do ar e com ele as impurezas são levadas pela tubulação até o filtro.

Existem muitos elementos mecânicos que determinam o dimensionamento do exaustor, os quais não serão explorados por não serem parte fundamental neste trabalho.

Em relação aos elementos elétricos, temos como item fundamental o motor trifásico. Este item é objeto de estudo neste projeto, pois as variáveis do sistema influenciam diretamente na sua atividade por meio do acionamento via inversor de frequência. A figura 06 demonstra um exaustor industrial e seu arranjo típico.



Figura [06]: Exaustor industrial.^[9]

O gráfico 01 demonstra as curvas características de um exaustor industrial e seus principais parâmetros levando em conta a vazão e pressão necessárias para um dado sistema de exaustão e filtragem.

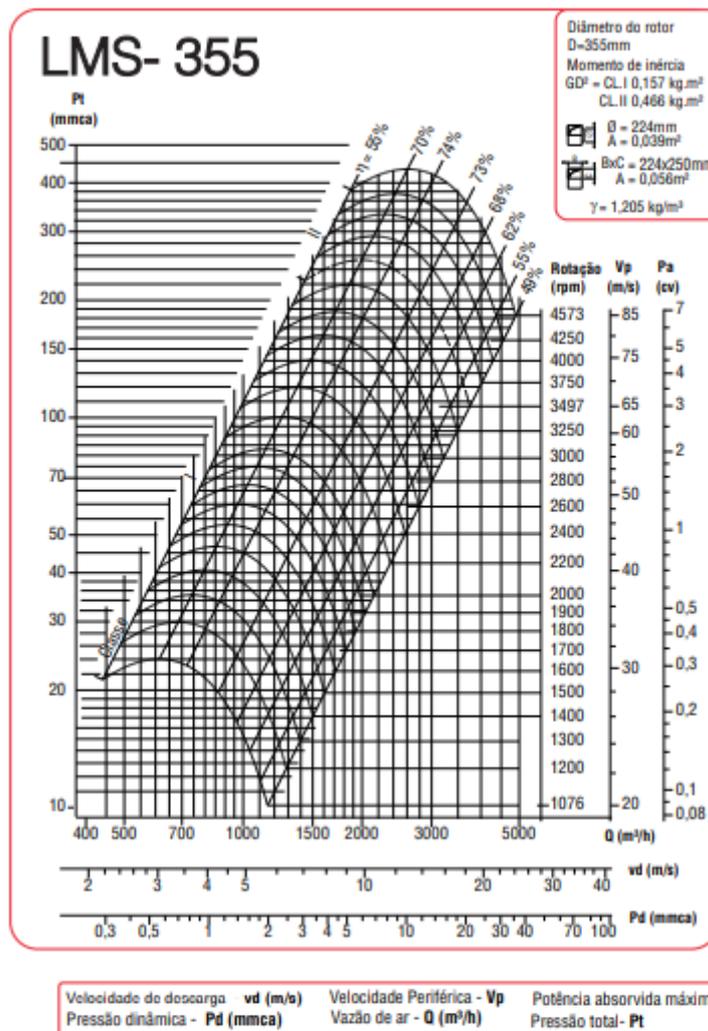


Gráfico [01]: Curvas características de um exaustor industrial [10]

2.2.2 Elétrica (Potência)

2.2.2.1 Motor do exaustor

O motor do exaustor industrial é o núcleo da principal unidade de potência do sistema de exaustão e filtragem. Se o exaustor e seu dimensionamento são itens fundamentais para determinar o funcionamento e a vazão do sistema como um todo, o motor exerce uma função fundamental pois este gera toda a força aplicada ao movimento do ar envolvido na atividade de exaustão. A figura 07 demonstra o motor do exaustor industrial e a posição onde é tipicamente montado.



Figura [07]: Motor do exaustor industrial.^[11]

Na tabela 01 encontram-se algumas características básicas de um motor trifásico utilizado em exaustores industriais. Entre estas informações é fundamental conhecer os valores nominais de tensão, corrente, e a rotação do moto. Estas informações são primordiais para o dimensionamento do sistema e a definição do exaustor a ser utilizado.

Linha do produto		: IR3 Premium Trifásico	
Carcaça	:	L112M	
Potência	:	5.5 kW (7.5 HP-cv)	
Número de polos	:	4	
Frequência	:	60 Hz	
Tensão nominal	:	220/380/440 V	
Corrente nominal	:	20.6/11.9/10.3 A	
Corrente de partida	:	150/87.1/75.2 A	
Ip/In	:	7.3	
Corrente a vazio	:	11.6/6.72/5.80 A	
Rotação nominal	:	1750 rpm	
Escorregamento	:	2.78 %	
Conjugado nominal	:	22.1 ft.lb	
Conjugado de partida	:	280 %	
Conjugado máximo	:	330 %	
Classe de isolamento	:	F	
Fator de serviço	:	1.25	
Momento de inércia (J)	:	0.4877 sq.ft.lb	
Categoria	:	N	
Potência	50%	75%	100%
Rendimento (%)	89.7	90.3	91.0
Cos Φ	0.58	0.70	0.77

Tabela [01]: Características de um motor elétrico trifásico ^[12]

2.2.2.2 Painel elétrico

Um painel de comando em um sistema de exaustão tem a função de realizar a partida e o controle do motor do exaustor. Alguns painéis possuem outras funções agregadas como a otimização da atividade do exaustor com uso de inversor de frequência, a redução da corrente de partida com uso de dispositivos denominados como *soft starter* (em inglês, partida suave), ou até funções de controle do sistema, como indicadores de baixa pressão no sistema de limpeza por ar comprimido, ou o acionamento de válvulas.

Para sistemas mais complexos, ou seja, cuja atividade é monitorada por sensores e é desejada a visualização dos valores apresentados em um sistema integrado a outros dispositivos (rede industrial ou rede local de computadores), é fundamental a utilização de um controlador lógico programável (CLP). Este equipamento torna possível por meio de programação, a interface do usuário com o sistema de exaustão contribuindo com atividades como o planejamento de produção, ou a manutenção de uma fábrica. Uma vez que monitorando sua atividade é possível prever paradas para manutenção. Além disso, por possuir entradas e saídas analógicas e digitais, o CLP permite de maneira mais compacta a utilização de comandos que, se utilizassem contadores ou relés convencionais resultariam em um painel de comando muito maior.

2.2.2.2.1 Caixa de montagem

A caixa de montagem, popularmente chamada de caixa padrão ou armário, é a estrutura metálica semelhante ao de uma caixa com porta para acesso aos componentes internos. Usualmente as interfaces com o usuário, tomadas entre outros dispositivos de fácil acesso ao usuário final, ficam localizadas na porta do painel. Os componentes mais críticos, de dimensões e peso maiores ficam instalados no interior da caixa. Logo, as dimensões da caixa padrão são definidas a partir dos componentes críticos, que neste caso são o inversor e o controlador.

Há um exemplo na figura 08 a caixa de montagem de um painel de comando já montado, com display e demais acessórios na porta.



Figura [08]: Painel de comando para sistema de exaustão.^[13]

2.2.2.2 Componentes de proteção contra sobrecarga

Todo circuito elétrico e eletrônico, em função de sua potência e de sua finalidade necessita de dispositivos de proteção contra sobrecargas.

Os efeitos de uma sobrecarga de tensão ou corrente são diversos, porém o principal deles é o dano irreparável do equipamento resultando em perdas financeiras significativas; tempo de equipamento parado, custo de substituição do(s) item(s) avariados entre outras.

Por este motivo os componentes de proteção contra sobrecarga devem ser devidamente especificados para garantir que o circuito seja aberto em tempo que impeça que componentes eletrônicos críticos (controladores, fontes ou dispositivos de baixa potência) sejam prejudicados.

Neste contexto destacam-se os disjuntores de dois tipos; o disjuntor-motor e o disjuntor bipolar.

O disjuntor motor é um dispositivo de proteção contra sobrecarga que possui como características principais o ajuste da corrente de operação e o desarme devido ao aumento de temperatura gerado por sobrecarga. O disjuntor motor é utilizado geralmente quando se deseja proteger equipamentos de maiores potências e corrente, onde as falhas elétricas são muito mais críticas. Possui um diferencial que permite o desarme pelo monitoramento das fases a ele relacionadas. Quando ocorre uma falha em uma das fases o relé de falta de fase atua desligando o disjuntor. Outro diferencial deste dispositivo são os contatos auxiliares normalmente abertos e/ou normalmente fechados que permitem as manobras de circuitos pela atuação da proteção deste disjuntor.^[11]

As figuras 09 e 10 contém exemplos de disjuntor motor e disjuntor bipolar comumente utilizado em painéis de sistemas de exaustão, dentre outras aplicações existentes na indústria.



Figura [09]: Dispositivo de proteção do tipo disjuntor motor. ^[14]

A tabela 2 demonstra um exemplo típico de um catálogo do fabricante SIEMENS, com o qual é possível selecionar o modelo do disjuntor a ser utilizado a partir das informações de tensão e corrente.

Disjuntores motor 3VS Smart Classe 10

	Motores trifásicos AC-3 60Hz em			Corrente máxima nominal do motor (A)
	220 V (cv / kW)	380 V (cv / kW)	440 V (cv / kW)	
	-	0,16 / 0,12	0,16 / 0,12	0,5
	-	-	0,25 / 0,18	0,6
	0,16 / 0,12	0,25 / 0,18	0,33 / 0,25	0,8
	-	0,33 / 0,25	-	0,9
	0,25 / 0,18	0,5 / 0,37	0,5 / 0,37	1,2
	0,33 / 0,25	0,75 / 0,55	0,75 / 0,55 1,0 / 0,75	1,6
	0,5 / 0,37	1 / 0,75	-	2
	-	1 / 0,75	1,5 / 1,1	2,4
	0,75 / 0,55	1,5 / 1,1	2 / 1,5	3
	1 / 0,75	2 / 1,5	-	4
	1,5 / 1,1	2 / 1,5	3 / 2,2	5
	-	3 / 2,2	4 / 3	5,8
	2 / 1,5	4 / 3	5 / 3,7	7
	3 / 2,2	5 / 3,7	6 / 4,5	9
	4 / 3	4 / 4,5	7,5 / 5,5	12
	5 / 3,7 6 / 4,5	10 / 7,5	10 / 7,5	16
	-	12,5 / 9	15 / 11	19
	7,5 / 5,5	-	-	21
	-	15 / 11	-	25

Tabela [02] Tabela de disjuntores motor SIEMENS.^[15]

Na figura 10 um outro exemplo de dispositivo de proteção, porém mais simples; disjuntor bipolar mais utilizado em circuitos que demandam menor potência e corrente.



Figura [10]: Dispositivo de proteção do tipo disjuntor bipolar.^[16]

No gráfico 02, um exemplo de curva de disparo, característica do disjuntor bipolar e monopolar do fabricante WEG. Estas curvas de disparo são fundamentais para escolha do disjuntor a ser utilizado no painel, em função do tempo de resposta desejado.

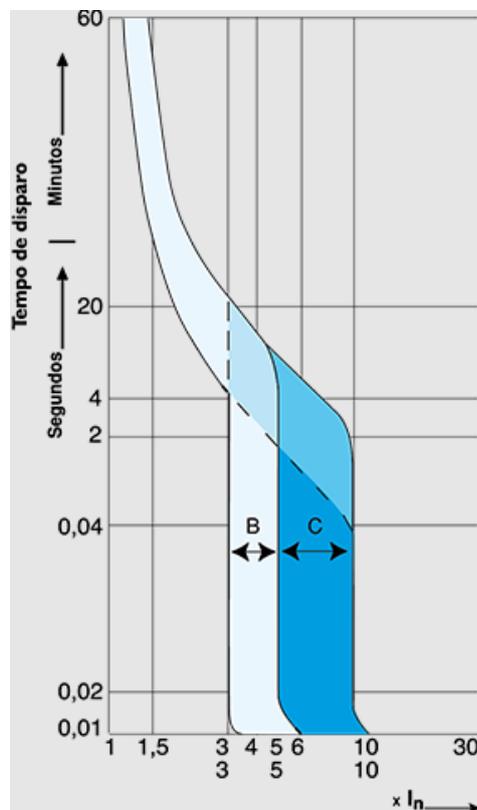


Gráfico [02]: Curva característica de disparo do disjuntor bipolar.^[17]

2.2.2.2.3 Componentes de alimentação

Todo circuito tem como premissa uma fonte de alimentação. Podemos dividir em quatro grupos as fontes de alimentação; trifásica, monofásica, corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC).

Ao citar tensão trifásica e monofásica, refere-se exclusivamente a tensões em corrente alternada. Isso nos permite afirmar que este projeto utiliza as duas formas de tensão alternada.

No contexto deste projeto, a fonte de alimentação trifásica em corrente (três condutores fase) em 380V é fornecida por um quadro de distribuição que por sua vez não faz parte do estudo apresentado. A tensão trifásica é necessária para alimentar o circuito de potência que contém o inversor de frequência e permitirá a partida do motor trifásico.

A tensão monofásica recebe outro tratamento pois, no caso de projetos de painéis elétricos são fornecidas por meio de transformadores que utilizam duas das três fases para fornecer 127VAC ou 220VAC para as fontes de alimentação de corrente contínua.

As fontes de corrente contínua são utilizadas em painéis elétricos para alimentar dispositivos de controle como controlador lógico programável (CLP), bobinas de contadores ou alguns relés de comando, sinalizadores a LED, sirenes. Na figura 11 temos um exemplo de fonte de alimentação com entrada CA e saída CC e sua montagem típica sobre um trilho DIN.



Figura [11]: Fonte de alimentação entrada 220VCA, saída 24VCC.^[18]

A tabela 03 contém especificações encontradas no catálogo do fabricante de fontes de corrente contínua para circuitos de comando.

SPECIFICATION				
MODEL		EDR-75-12	EDR-75-24	EDR-75-48
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	24V	48V
	RATED CURRENT	6.3A	3.2A	1.6A
	CURRENT RANGE	0 ~ 6.3A	0 ~ 3.2A	0 ~ 1.6A
	RATED POWER	75.6W	76.8W	76.8W
	RIPPLE & NOISE (max.) <small>Note.2</small>	80mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	12 ~ 14V	24 ~ 28V	48 ~ 55V
	VOLTAGE TOLERANCE <small>Note.3</small>	±2.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	1200ms, 60ms/230VAC 2000ms, 60ms/115VAC at full load		
HOLD UP TIME (Typ.)	60ms/230VAC 12ms/115VAC at full load			
INPUT	VOLTAGE RANGE <small>Note.6</small>	90 ~ 264VAC 127 ~ 370VDC [DC input operation possible by connecting AC/L(+), AC/N(-)]		
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz		
	EFFICIENCY (Typ.)	85.5%	87.5%	88.5%
	AC CURRENT (Typ.)	1.45A/115VAC 0.9A/230VAC		
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/115VAC 35A/230VAC		
	LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC		
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 130% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed		
	OVER VOLTAGE	14 ~ 17V	29 ~ 33V	56 ~ 65V
	OVER TEMPERATURE	Shut down o/p voltage, re-power on to recover		

Tabela [03]: Características de uma fonte corrente contínua para uso em painéis elétricos de comando. ^[19]

2.2.2.2.4 Inversor de frequência

O inversor de frequência coordena a atividade do exaustor por meio da variação de sua frequência bem como a sua partida e desligamento.

Existem diversos inversores de frequência, muitos destes projetados para aplicações específicas, podendo inclusive ter blocos de entradas e saídas digitais e analógicas que podem ser programáveis.

Esta condição permite ao inversor de frequência assemelhar-se ao CLP (Controlador Lógico Programável), porém não pode substituí-lo na maioria dos casos.

A função específica do inversor neste projeto é a variação da frequência através das informações recebidas em suas entradas analógicas, o acionamento e desligamento por meio da verificação dos status das entradas digitais e a resposta ao controlador por meio da comunicação em rede industrial Modbus. É importante citar que existem saídas digitais e saídas a relé que também podem ser utilizadas para comunicação como alarmes, sinais visuais etc. Na figura 12 temos um modelo de inversor de frequência do

fabricante Danfoss cujas características foram compatíveis para utilização no painel de comando do sistema de exaustão e filtragem.



Figura [12]: Inversor de frequência. [20]

A tabela 04 traz as características encontradas em um catálogo de inversor de frequência.

Specifications	
Mains supply (L1, L2, L3)	
Supply voltage	200 – 240 V ±10% 380 – 480 V ±10% 525 – 600 V ±10% 525 – 690 V ±10%
Supply frequency	50/60 Hz
Displacement power factor (cos φ)	> 0.98 near unity
Switching on input supply L1, L2, L3	1–2 times/min.
Output data (U, V, W)	
Output voltage	0–100% of supply voltage
Switching on output	Unlimited
Ramp times	1–3600 s
Output frequency	0–590 Hz
Digital inputs	
Programmable digital inputs	6*
Logic	PNP or NPN
Voltage level	0–24 VDC
<i>* 2 can be used as digital outputs</i>	
Pulse inputs	
Programmable pulse inputs	2*
Voltage level	0–24 VDC (PNP positive logic)
Pulse input accuracy	(0.1–110 kHz)
<i>* Utilize some of the digital inputs</i>	
Analog input	
Analog inputs	2
Modes	Voltage or current
Voltage level	0 V to +10 V (scaleable)
Current level	0/4 to 20 mA (scaleable)
Analog output	
Programmable analog outputs	1
Current range at analog output	0/4–20 mA

Tabela [04]: Características básicas de um inversor de frequência [21]

Foi adotado este modelo de fabricante de inversor devido à sua utilização já ter sido padronizada em outros projetos e equipamentos produzidos pela empresa na Europa. Deste modo, os parâmetros de comunicação Modbus existentes no controlador 3 em 1 foram definidos a partir dos parâmetros deste modelo de inversor. Portanto, o projeto de nacionalização considerou a aquisição deste mesmo modelo, porém de um representante Danfoss no Brasil.

2.2.2.3 Dispositivos de segurança operacional

Em atendimento à norma reguladora de segurança (NR12) do Ministério do Trabalho, os painéis elétricos devem também conter dispositivos que garantam a segurança operacional.

Neste âmbito destacam-se a chave seccionadora e o circuito de segurança, cujo componente fundamental é o relé de segurança.

Chave seccionadora trifásica tem a função de interromper a alimentação trifásica que é a principal fonte de tensão do painel do sistema de exaustão. Ao abrir este circuito é interrompida também a fonte de alimentação monofásica e a corrente contínua (CC) para circuitos de baixa potência. Deste modo esta chave é também conhecida como chave geral do painel.

A chave seccionadora garante a segurança na operação pois na posição ligada, possui uma trava mecânica que impede a abertura do painel, evitando assim que o operador tenha contato com partes energizadas. Ao desligar a chave, a trava mecânica é liberada e deste modo o operador pode acessar os componentes do painel, já desenergizados.

Outra situação que envolve segurança é a possibilidade de inserir um cadeado para que a chave permaneça travada na posição desligada. Desta maneira um operador que não tenha o treinamento adequado fica impedido de operar o sistema em questão, estando isento das consequências por erros de operação ou até mesmo acidentes de trabalho.

Na figura 13 temos uma chave seccionadora trifásica onde é possível visualizar o orifício onde é possível inserir a “trava cadeado”.



Figura [13]: Chave seccionadora trifásica. [22]

O circuito de segurança é responsável por prevenir acidentes que possam ser causados pela atividade do sistema de exaustão, ou até mesmo potencializados por este.

O sistema de exaustão não pode operar em condições que ofereçam risco de acidentes aos operadores, são casos como:

a. Operações em altas temperaturas que ofereçam risco de incêndio, sobretudo nos elementos filtrantes. Neste caso o controlador ao indicar a temperatura elevada sinaliza a condição de alerta ou alarme dependendo do *setpoint* e *delay* pré-definidos.

b. Operações em atmosferas explosivas. O risco de explosão deve ser minimizado ao máximo, ou os efeitos de uma eventual explosão devem ser atenuados de modo que não haja vítimas.

c. Atuação do botão de emergência (operado manualmente). Neste caso o botão de emergência é acionado pelo operador quando é identificada uma situação em que há risco de acidente, ou quando houver algum erro de operação. O botão de emergência é uma das exigências da norma regulamentadora 12 (NR12) que trata especificamente da segurança em equipamentos e máquinas industriais.

Estas são condições em que o circuito de segurança atua em caso de anormalidade, desligando o exaustor. Esta atividade é realizada pelo relé de segurança que envia o sinal de desligamento para o inversor de frequência, que por sua vez interrompe a alimentação do motor do exaustor. A figura 14 demonstra um relé de segurança do fabricante SIEMENS, considerado compatível com as funções de segurança deste projeto. Na figura 15, um esquema típico dos contatos internos do relé de segurança e suas respectivas ligações.



Figura [14]: Relé de segurança. [23]

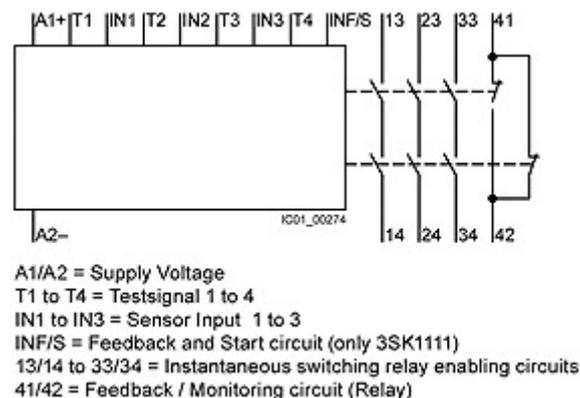


Figura [15]: Esquema típico de contatos internos de um relé de segurança [24]

2.2.3 Eletrônica (Automação)

2.2.3.1 Controlador 3 em 1

O controlador denominado de 3 em 1, recebe este nome por possuir três funções em um mesmo equipamento: CLP (controlador lógico programável), IHM (interface homem-máquina) e Gateway (conversor de protocolos de rede industrial). Trata-se de um dispositivo projetado pela empresa na Europa exclusivamente para a aplicação de controle de sistema de exaustão industrial. Por este motivo, possui um software embarcado também exclusivo, que permite algumas configurações conforme o sistema de exaustão a ser controlado. Estas configurações são de interface do usuário e referem-se aos modos de operação, parâmetros de alarme entre outras condições em que não é

necessário alterar o código fonte da programação do equipamento. A figura 16 demonstra o display IHM do controlador 3 em 1, devidamente ligado e com as funções de status entre outras, disponíveis para acesso do operador.



Figura [16]: Display do controlador 3 em 1. [25]

2.2.3.1.1 CLP

O controlador lógico programável, como sugere o próprio nome, controla todas as informações e ações do sistema. Considerado o “cérebro” do sistema, este elemento armazena informações no histórico de eventos, predefinições de valores de alarmes, mensagens entre outros dados configuráveis. A figura 17, nos itens A e B demonstra dois modelos de controlador lógico programável.

Figura 17: Exemplos de controlador



[17-A] [26]

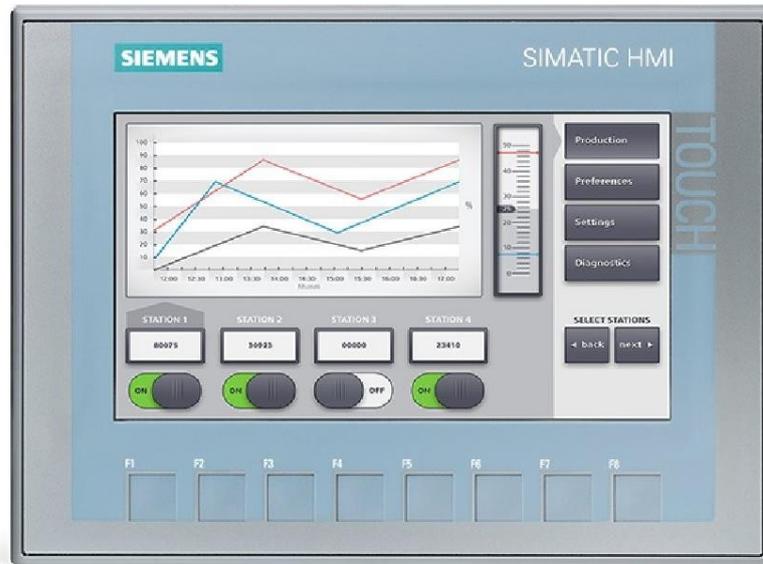


[17-B] [27]

2.2.3.1.2 Interface Homem máquina (IHM)

O IHM (Interface Homem Máquina) é um dispositivo de imagens geralmente um display, que permite a interação do usuário com o painel e demais elementos do sistema a ser comandado. Esta interface é gerenciada pelo controlador, e atua diretamente na operação do sistema por parte do usuário. As imagens apresentadas no display geralmente são definidas na programação do controlador ou quando os IHMs forem programáveis. Este tipo de programação e ajustes não são acessíveis ao usuário final do sistema. A leitura dos valores apresentados deve ser da maneira simples e objetiva. A figura 18 nos itens A e B traz exemplos de IHM aplicados em painéis elétricos de automação e controle.

Figura [18]: exemplos de IHM



[18-A] [28]



[18-B] [29]

2.2.3.1.3 Gateway

O Gateway é um conversor de protocolos de comunicação industrial, sempre necessário quando deseja-se trabalhar com dispositivos que possuem protocolos de comunicação diferentes. Este trabalho não visa explorar os tipos de redes industriais existentes e suas respectivas topologias, porém é necessário citar as principais redes industriais que os gateways são capazes de converter e as que tem maior demanda de utilização no mercado.

- Modbus
- Ethernet
- Profinet
- Profibus
- CanOpen
- OPC UA

Neste projeto o gateway tem a função de converter os dados coletados pelo controlador em informações que possam ser compatíveis com qualquer rede industrial utilizada pelos clientes. Como o gateway é integrado ao dispositivo controlador 3 em 1, está apto a ser conectado em qualquer rede disponível. Existem vários tipos de gateways no mercado, com características de comunicação e transmissão distintas. Na figura 19, nos itens A, B e C, temos exemplos de gateways industriais de três fabricantes distintos.

Figura 19: Exemplos de gateways industriais



[19-A] ^[30]



[19-B] ^[31]



[19-C] ^[32]

2.2.4 Sensores de campo

Os sensores de campo, como sugerido pelo nome, são em uma analogia ao corpo humano como os elementos do corpo que alimentam o cérebro com as informações como de temperatura, pressão, presença de material entre outras condições.

No caso deste sistema em particular, os sensores avisam o cérebro (controlador) como o sistema está se “sentindo”. Desta forma, o controlador tem as informações sobre irregularidades ou condições adversas à operação do sistema. Os elementos em questão são os listados a seguir:

2.2.4.1 Sensor diferencial de pressão

O sensor diferencial de pressão é um dos principais elementos do sistema de exaustão e filtragem. Sua atividade está diretamente ligada à eficiência da filtragem.

Seu funcionamento baseia-se na comparação da pressão do ar antes de depois da filtragem.

A diferença destes dois valores de pressão (medidos em Pascal (Pa)) gera um sinal analógico (4 a 20mA) que recebido pelo controlador é convertido em informação (valor da diferença de pressão).

Os diferentes valores de ΔP são interpretados como indicador da filtragem. A partir desta informação o controlador pode identificar a necessidade de iniciar o ciclo de limpeza dos elementos filtrantes para melhorar a eficiência, ou em outros casos, é constatado que o elemento filtrante está saturado (não é mais possível executar limpeza) ou danificado (com vazamentos por exemplo).

Uma diferença de pressão muito baixa significa que o ar externo possui quase tantas partículas quanto o ar interno. O que significa que os elementos filtrantes podem estar saturados. Com esta informação o sistema de limpeza por ar comprimido é acionado, com o objetivo de limpar os elementos filtrantes e conseqüentemente melhorar a qualidade do ar que será liberado para o ambiente.

Após este ciclo de limpeza, a diferença de pressão deverá aumentar, o que significa que o ar interno tem muito menos impurezas do que o externo.

Caso esta medida não volte à condição considerada normal, deve-se avaliar se a limpeza dos elementos está sendo eficiente. É possível avaliar a eficiência deste ciclo pela inspeção visual do elemento filtrante. Um filtro sem capacidade de ser limpo novamente é considerado um filtro saturado que precisa ser substituído.

Além da inspeção visual é necessário também avaliar se a pressão do ar comprimido é suficiente para realizar estes ciclos, bem como se as válvulas pneumáticas que liberam os pulsos de ar estão operando corretamente (intervalos entre as atuações, tempo de abertura etc.) A análise de natureza pneumática está relacionada a um sensor de pressão (pressostato).

A diferença de pressão muito baixa representa um problema, pois um elemento filtrante furado ou um vazamento no equipamento pode ocasionar um fluxo de ar muito alto. Este resultado sinaliza que existe quase nenhuma oposição à passagem do fluxo de ar, por este motivo o ar interno passa quase livremente pelo equipamento. ^[33]

Para melhor compreensão dos parâmetros de alto ΔP e baixo ΔP a descrição abaixo exemplifica os valores estabelecidos com ensaios realizados em campo, onde x = valor medido pelo sensor.

$X = \Delta P$ máximo: elemento filtrante sujo. Neste momento o sistema de limpeza automática entra em atividade

$X = \Delta P$ mínimo: Operação normal após o ciclo de limpeza

$X > \Delta P$ máximo: elemento filtrante saturado ou limpeza ineficiente. Deve-se avaliar a necessidade de troca.

$X < \Delta P$ mínimo: elemento filtrante ou equipamento com vazamentos.

Existem vários tipos, com várias faixas e modos de operação diferentes (saídas analógicas e digitais) com ou sem display indicador entre outros recursos. Na figura 20, temos um sensor de pressão diferencial do fabricante NOVUS permite ser programado por comunicação via USB, utilizar sinais de entrada analógicos selecionáveis (4 a 20mA ou 0 a 10V) e uma saída digital que pode ser configurada como alarme. Além da disponibilidade para comunicação em rede serial Modbus. As tabelas 05 e 06 trazem informações típicas de um catálogo de sensor diferencial de pressão, tais como faixa de operação, entradas e saídas do dispositivo.



Figura [20]: Sensor diferencial de pressão. [34]

FAIXAS DE MEDIDA

	MODELO NP785-50PA	MODELO NP785-100PA	MODELO NP785-05	MODELO NP785-20	MODELO NP785-68	MODELO NP785-400	MODELO NP785-1000
Faixa de Medição	-50 a 50 Pa	-100 a 100 Pa	-5 a 5 mbar	-20 a 20 mbar	-68 a 68 mbar	-400 a 400 mbar	-1000 a 1000 mbar
Sobrepresão*	68 mbar	68 mbar	100 mbar	300 mbar	136 mbar	800 mbar	2000 mbar
Pressão de Ruptura	200 mbar	200 mbar	200 mbar	400 mbar	2000 mbar	4000 mbar	4000 mbar
Pressão de linha**	68 mbar	68 mbar	100 mbar	300 mbar	136 mbar	800 mbar	2000 mbar

Tabela [05]: Faixas de medição de um sensor diferencial de pressão. [35]

ENTRADAS E SAÍDAS

	MODELO NP785-50PA	MODELO NP785-100PA	MODELO NP785-05	MODELO NP785-20	MODELO NP785-68	MODELO NP785-400	MODELO NP785-1000
Tensão de Alimentação	<ul style="list-style-type: none"> Alimentação pelos bornes PWR: 12 Vcc a 30 Vcc; Alimentação pelo cabo USB: 4,75 Vcc a 5,25 Vcc. Proteção interna contra inversão da polaridade da tensão de alimentação.						
Corrente de Alimentação	< 45 mA ± 10 % @ 24 Vdc						
Entrada	02 tomadas para a conexão de mangueira pneumática de 4 ou 6 mm de diâmetro interno.						
Saída	Pode ser independentemente configurada para operar com sinais 0-10 V ou 4-20 mA. <ul style="list-style-type: none"> 0-10 V: Corrente máxima: 2 mA; Resolução: 0,003 V. 4-20 mA: Carga máxima de 500 R; Resolução: 0,006 mA. 						
Compatibilidade eletromagnética	EN/IEC 61326-1						

Tabela [06]: Entradas e saídas de um sensor diferencial de pressão. [36]

2.2.4.2 Pressostato

O pressostato é um sensor com contato normal aberto (NA) e um normal fechado (NF) cuja função é, através da mudança de estado dos seus contatos, permitir que o controlador identifique a alteração na pressão em uma determinada linha de ar comprimido.

Neste caso, tratamos da linha de ar comprimido que abastece o sistema de limpeza. Esta linha abastece um acumulador de ar que em intervalos pré-estabelecidos é liberado em forma de pulsos para o interior dos elementos filtrantes. Desta forma, para que a limpeza seja eficiente o acumulador deve estar bem abastecido, como consequência de uma pressão de linha bem ajustada.

Em outra situação, também em um sistema de exaustão e filtragem, atuam *dampers* cuja atividade consiste em permitir ou cessar a captação do ar em determinados pontos do sistema. Esses *dampers* podem ser pneumáticos, elétricos ou manuais. Os *dampers* pneumáticos podem ter a sua atuação também sinalizada por pressostatos para que o controlador saiba, por exemplo, quantos e quais *dampers* estão abertos em um determinado momento. A figura 20 traz um exemplo de pressostato com faixa de operação tipicamente aplicada a acumuladores de ar comprimido.

Figura [21]: Exemplo de pressostato. ^[37]



Na tabela 07 as faixas de atuação aplicáveis a este tipo de sensor em unidades de medida de pressão (bar ou psi) conforme o catálogo do fabricante.

Faixas de atuação

Unidade	Pressão máx. de operação	Faixa de atuação	Não-repetibilidade ¹⁾	Princípio de medição	
bar	20	-0,85 ... -0,15	±0,05	Diafragma	
		60	0,2 ... 2		±0,04
			0,5 ... 8		±0,16
	350	1 ... 16	±0,32		
		10 ... 30	±0,6		Pistão
		10 ... 80	±1,6		
		10 ... 120	±2,4		
20 ... 200	±4				
psi	300	-25 ... -5 inHg	±1,4 inHg	Diafragma	
		870	3 ... 30		±0,6
			7 ... 115		±2,3
	5.000	15 ... 225	±4,5	Pistão	
		150 ... 425	±8,5		
		150 ... 1.150	±23		
		150 ... 1.700	±34		
		150 ... 2.300	±46		
		300 ... 2.900	±58		
		300 ... 3.600	±72		
		450 ... 4.600	±92		

Tabela [07]: Faixas de operação de um pressostato. ^[38]

Outas informações disponibilizadas pelo fabricante em catálogo e ficha técnica do sensor são as funções de chaveamento (atuação do sensor) e as configurações elétricas conforme tabela 08:

Função de chaveamento

Selecionável: normalmente aberto, normalmente fechado, contato reversível

Conexão elétrica	Normalmente aberto	Normalmente fechado	Contato reversível
Conector angular DIN 175301-803 A (4 pinos)	-	-	x
Conector circular M12 x 1 (4 pinos)	-	-	x
Saída cabo	x	x	x

Configurações elétricas

Categoria de utilização ¹⁾	Tensão			Corrente
	Conector angular	M 12 x 1, cabo	Todas	
Carga resistiva AC-12, DC 12	AC 250 V	AC 48 V	DC 24 V	4 A
Carga indutiva AC-14, DC 14	AC 250 V	AC 48 V	DC 24 V	2 A
Capacidade mínima de chaveamento	25 mW com contatos de prata maciça			

Tabela [08]: Funções de chaveamento e funções elétricas. ^[39]

2.2.4.3 Sensor capacitivo

O sensor capacitivo tem por finalidade identificar a presença de qualquer corpo pela resposta à interferência causada à propagação do campo elétrico.

No sistema aqui estudado, o sensor capacitivo está relacionado à medição do nível do reservatório de material particulado, também denominado BIN.

Este reservatório recebe o material oriundo da limpeza dos elementos filtrantes. O material acumulado no reservatório precisa ser removido e destinado a um local ecologicamente correto, seguindo definições ambientais que não ofereçam risco de dano à natureza.

Para evitar transbordo do material no reservatório ou para que o filtro não passe a captar impurezas novamente, o nível não deve exceder setenta e cinco por cento do volume máximo do recipiente. Por este motivo utiliza-se o sensor capacitivo como sensor de nível de reservatório em sistemas de exaustão e filtragem.

A atuação deste componente sinaliza ao controlador duas condições de reservatório (cheio ou “não-cheio”).^[40]

Considera-se não cheio, toda e qualquer quantidade abaixo de 75%, e cheio as quantidades iguais ou acima de 75%. Para melhor organizar a atividade de descarte do material coletado, o sensor pode ser relocado de forma a atuar com 75% da capacidade do reservatório. As duas condições são sinalizadas na IHM. Na figura 21 temos um exemplo de sensor indutivo utilizado em recipientes coletores.



Figura [22]: Exemplo de sensor capacitivo. ^[41]

Specifications (cont.) EN 60947-5-2

Sensitivity control	Adjustable by potentiometer
Electrical adjustment	11 turns
Mechanical adjustment	16 turns
Adjustable distance	
Flush types	2 to 20 mm
Non-flush types	4 to 30 mm
Effective operating dist. (S_r)	$0.9 \times S_n \leq S_r \leq 1.1 \times S_n$
Usable operating dist. (S_u)	$0.85 \times S_r \leq S_u \leq 1.15 \times S_r$
Repeat accuracy (R)	$\leq 5\%$
Hysteresis (H)	3 - 20%
Rated operational volt. (U_a)	10 to 40 VDC (ripple incl.)
Ripple	$\leq 10\%$
Output function	NPN or PNP
Output switching function	N.O. and N.C.
Rated operational current (I_a)	≤ 200 mA (continuous)
Capacitive load	100 nF
No-load supply current (I_0)	≤ 12 mA
Voltage drop (U_d)	≤ 2.0 VDC @ 200 mA DC
Minimum operational current (I_m)	≥ 0.5 mA
OFF state current (I_r)	≤ 100 μ A
Protection	Short-circuit, reverse polarity, transients
Frequency of operating cycles (f)	50 Hz
Response time OFF-ON (t_{on})	≤ 10 ms
Response time ON-OFF (t_{off})	≤ 10 ms
Power ON delay (t_v)	≤ 200 ms

Tabela [09]: Características de um sensor capacitivo. [42]

Wiring Diagram

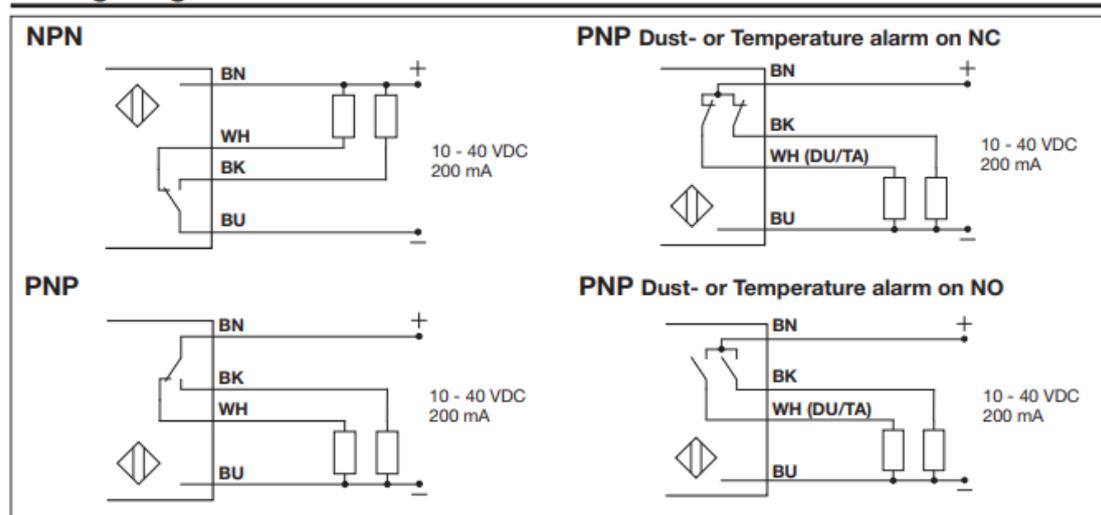


Figura [23]: Ligações típicas de um sensor capacitivo. [42]

Detection Diagram

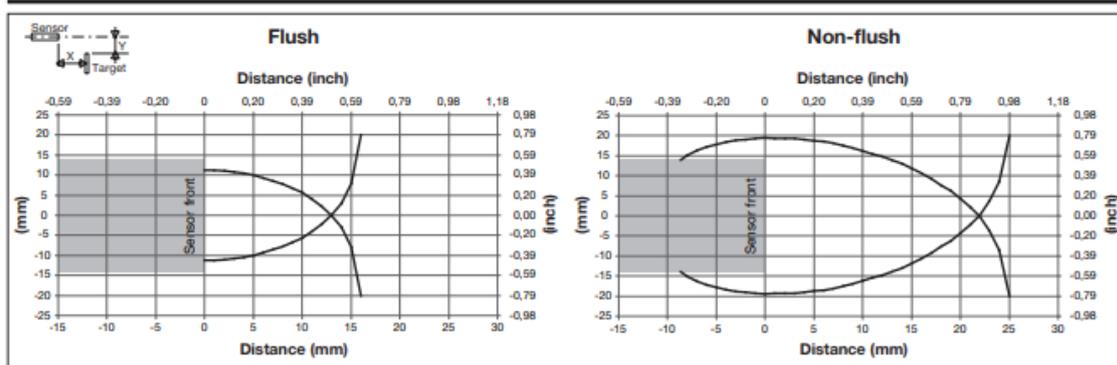


Gráfico [03]: Curva característica de operação de um sensor capacitivo. [42]

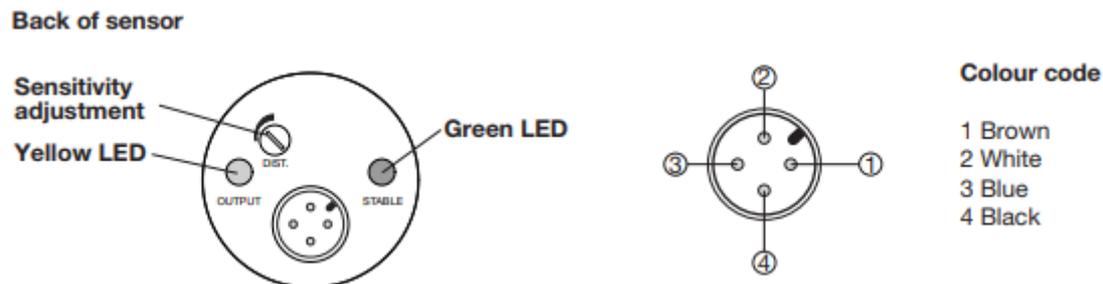


Figura [24]: Ajustes e conexões do sensor capacitivo. [42]

2.2.4.4 Sensor indutivo

Sensor destinado a atuações onde se deseja monitorar atividades ligadas a elementos metálicos. Deste modo o sensor é empregado em um sistema de exaustão e filtragem quando se utiliza uma válvula rotativa, ou válvulas de isolamento de ar. A válvula rotativa possuindo haletas deve estar integra internamente. Ou seja, qualquer dano em suas haletas ocasiona problemas de estanqueidade, acúmulo de material e até danos elétricos ao motor da válvula. [43]

A válvula de isolamento de ar é destinada a impedir a passagem do ar quando houver uma explosão ou evento de incêndio na tubulação. Ao impedir a circulação do ar, impede-se também a potencialização do incêndio. O sensor indutivo atua na percepção da mudança de posição da válvula. Devido à atividade da válvula, a distância entre ela e o sensor é alterada e deste modo o controlador recebe este sinal e sinaliza o evento na IHM. A figura 22 nos itens A e B traz um exemplo de sensor indutivo, sua face sensora e alguns detalhes no seu corpo (LED's que indicam seu acionamento).

Figura [25]: Exemplos de sensor indutivo ^[44]



[25-A] ^[44]



[25-B] ^[44]

Características do produto	
Função elétrica	PNP
Saída	normalmente aberto
Alcance de detecção [mm]	8
Involúcro	forma construtiva de roscas
Dimensões [mm]	M18 x 1 / L = 60
Campo de aplicação	
Característica especial	Contatos banhados a ouro; alcance aumentado
Aplicação	Uso em aplicações industriais, móveis, com fluidos refrigerantes e lubrificantes; Aplicações industriais / automação industrial
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	10...30 DC
Consumo de corrente [mA]	< 10
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Saídas	
Função elétrica	PNP
Saída	normalmente aberto
Queda de tensão máx. da saída de comutação DC [V]	2,5
Intensidade de corrente máxima constante da saída de comutação DC [mA]	100
Frequência de comutação DC [Hz]	400

Tabela [10]: Informações de catálogo de um sensor indutivo. [45]

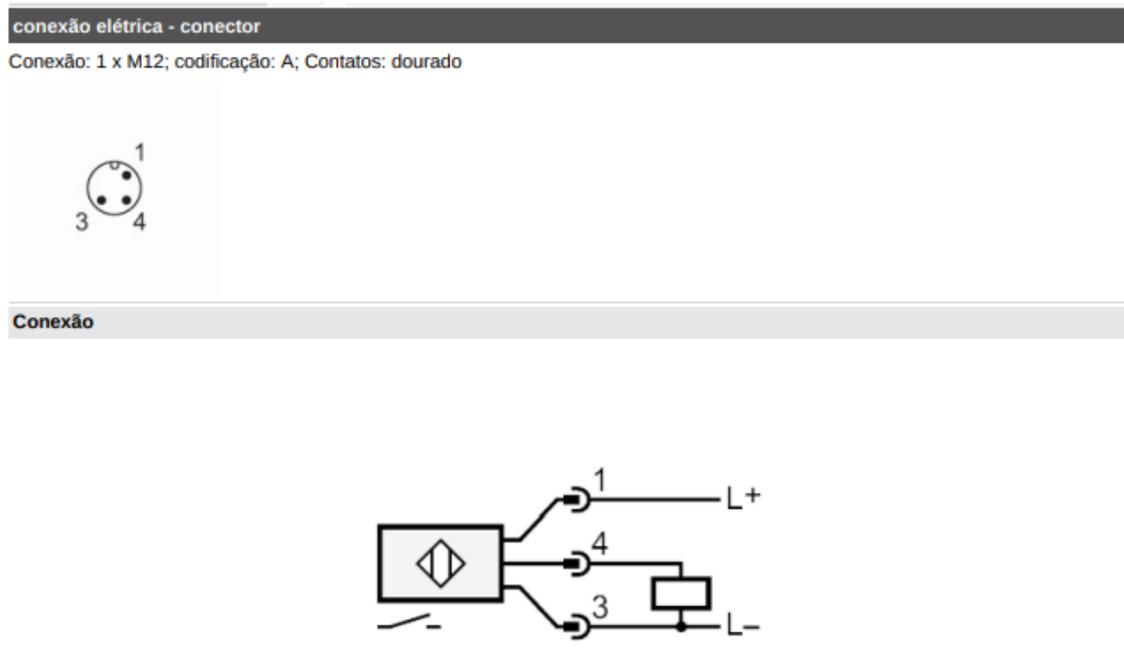


Figura [26]: Esquema de ligação de um sensor indutivo. [45]

2.2.4.5 Sensor de temperatura PTC

Com a função de sinalizar ao controlador sobre o aumento da temperatura, o PTC é utilizado nos dutos antes e depois do filtro. Desta forma, um aumento de temperatura no duto antes do filtro pode indicar um risco de incêndio, que sendo detectado com antecedência pode ser evitado pelo desligamento do sistema de filtragem. Sua atividade pode ser atrelada à atuação do circuito de segurança.

O mesmo ocorre com o monitoramento da temperatura depois do filtro (descarga do ar para a atmosfera).

A figura 23 demonstra um sensor de temperatura PT100 cuja faixa de operação vai até 100 graus Celsius.



Figura [27]: Exemplo de sensor de temperatura PT100 utilizado em sistemas de exaustão e filtragem. [46]

Características especiais

- Faixa do sensor de -196 ... +600 °C [-320 ... +1.112 °F]
- Fabricado de cabo de isolamento mineral
- Opção com segurança funcional (SIL) com utilização de transmissor de temperatura, modelo T32
- Construção com mola de compressão no elemento
- Versões para área classificada estão disponíveis para vários tipos de aprovação (consulte a página 2)

Tabela [11]: Características de um sensor de temperatura. [47]

Elemento de medição

Pt100 (corrente de medição: 0,1 ... 1,0 mA)¹⁾

Ligação elétrica	
Elementos simples	1 x 2 fios 1 x 3 fios 1 x 4 fios
Elemento duplo	2 x 2 fios 2 x 3 fios 2 x 4 fios ²⁾

Limites de tolerância da exatidão da classe conforme IEC 60751		
Classe	Construção do sensor	
	Wire wound	Thin-film
Classe B	-196 ... +600 °C	-50 ... +500 °C
Classe A ³⁾	-100 ... +450 °C	-30 ... +300 °C
Classe AA ³⁾	-50 ... +250 °C	0 ... 150 °C

Tabela [12]: Informações de catálogo de um sensor de temperatura. [47]

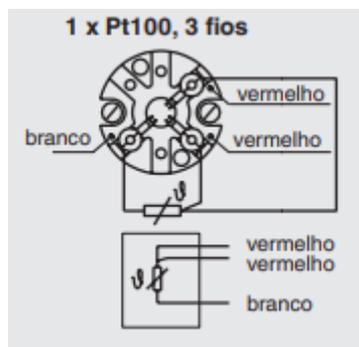


Figura [28]: Esquema de ligação de um sensor de temperatura. [47]

Sinal de saída 4 ... 20 mA, protocolo HART®		
Transmissor (opções)	Modelo T15	Modelo T32
Folha de dados	TE 15.01	TE 32.04
Saída		
4 ... 20 mA	x	x
Protocolo HART®	-	x
Ligação elétrica		
1 x 2 fios, 3 fios ou 4 fios	x	x
Corrente de medição	< 0,2 mA	< 0,3 mA

Tabela [13]: Sinais de saída de um sensor de temperatura. [47]

2.2.4.6 Sensor de vibração

O sensor de vibração é utilizado neste sistema para monitorar a vibração do motor do exaustor com o objetivo de que não ultrapasse o valor de 25mm/s. Vibrações altas indicam um possível desbalanceamento do conjunto motor e propulsor, o que pode ocasionar danos à estrutura do exaustor ou até mesmo o travamento do rotor do motor.

Caso o valor indicado pelo sensor seja o valor máximo, o controlador aciona o circuito de segurança para que o exaustor seja desligado. A figura 29 demonstra um sensor de vibração do fabricante IFM utilizado no projeto deste sistema de exaustão e filtragem.



Figura [29]: Exemplo de sensor de vibração que pode ser instalado em sistemas de exaustão e filtragem. [48]

Características do produto	
Vibração da área de medição [mm/s]	0...50; (RMS)
Faixa de frequência [Hz]	10...1000
Campo de aplicação	
Aplicação	Monitor de vibração para DIN ISO 10816
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	18...32 DC
Consumo de corrente [mA]	< 50
Classe de proteção	III
Modelo do sensor	Sistema microeletromecânico (MEMS)
Entradas/saídas	
Quantidade total de entradas e saídas	2
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas digitais: 1; Quantidade de saídas analógicas: 1

Tabela [14]: Características de um sensor de vibração. [49]

Saídas	
Sinal de saída	sinal de comutação; sinal analógico
Quantidade de saídas digitais	1
Saída	normalmente fechado
Queda de tensão máx. da saída de comutação DC [V]	2
Intensidade de corrente máxima constante da saída de comutação DC [mA]	500
Quantidade de saídas analógicas	1
Corrente da saída analógica [mA]	4..20
Carga máx. [Ω]	500
Proteção contra curto-circuitos	sim
Versão da proteção contra curto-circuito	por impulso
Proteção contra sobrecarga	sim

Tabela [15]: Características de um sensor de vibração. ^[49]

2.1.4 Software (Monitoramento e Aquisição de Dados)

Existem diversos softwares de monitoramento baseados nos sistemas operacionais existentes. Tendo como base o sistema Windows (o mais utilizado) e suas diversas versões e pacotes os softwares dependem de configurações no ambiente de rede que permitam a atualização dos dados conforme latência definida pelo cliente e a velocidade disponível nos equipamentos da topologia (infraestrutura de hardware).

2.1.5 Conectividade

Diante da necessidade de monitoramento via CLP, o que já é realidade em muitas empresas, além da interconexão em rede industrial (Ethernet, Modbus, Fieldbus, entre outras) um novo conceito de conectividade também é aplicado à realidade industrial.

A IoT (*Internet of Things* = Internet das Coisas) é uma realidade onde os dispositivos eletrônicos, de uso doméstico ou comercial podem comunicar-se, e desta forma permitir acionamentos ou monitoramentos a distância, ou a unificação de controle de dados, como por exemplo um sistema de câmeras que pode ser acessado via celular, celulares que permitem a transmissão de vídeos para Smart TVs etc.

A IIoT (*Industrial Internet of Things*) como o próprio nome sugere, trás a realidade da IoT para o ambiente industrial. Com os cuidados acerca da segurança de dados, e confiabilidade da conexão entre dispositivos, a IIoT permite aos equipamentos industriais, o mesmo monitoramento remoto que os celulares possuem com ambientes

domésticos ou comerciais, porém com informações referentes à atividade industrial ou qualquer outra atividade que se deseja monitorar.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Definição da engenharia de requisitos para a nacionalização

A montagem de equipamentos utilizando em maior parte componentes importados, sempre apresentou algumas dificuldades que vão desde o custo elevado (devido às variações cambiais), prazo de entrega longo (o que dificulta o planejamento de demandas a curto prazo), e dificuldade de feedback imediato ao fabricante (em função da distância entre Brasil, Estados Unidos, Europa e Japão, fuso horário de geralmente 4 a 5 horas de diferença etc.).

Por esta razão se teve como objetivo no ponto de vista técnico e comercial da empresa, a validação de um projeto que resultasse em um equipamento de fabricação viável, tanto pelo custo de material e serviços de montagem, quanto pela disponibilidade dos materiais. Estes fatores são fundamentais para o planejamento da fabricação em escala.

Tecnicamente foi fundamental ter domínio sobre a tecnologia empregada. Neste caso, o único componente com software de propriedade exclusiva da unidade matriz (Suécia) é o controlador, que se assemelha a um CLP (Controlador Lógico Programável). Com exceção deste e do inversor de frequência, o projeto procurou flexibilizar os demais componentes, como disjuntores, sensores de campo, fontes, relés, entre outros dispositivos.

Foi de fundamental importância que os componentes utilizados fossem todos especificados em diagrama elétrico aprovado pelos desenvolvedores da unidade da Polônia. Os diagramas respeitaram sobretudo as normas regulamentadoras brasileiras (NR10 e NR12), além das normas internacionais adotadas também pela indústria brasileira (normas IEC – *International Electrotechnical Commission*).^{[50][51][52]}

3.2 Definição de áreas críticas a serem nacionalizadas

Existem diferenças entre o setor industrial brasileiro e o europeu (onde o equipamento foi projetado). A indústria europeia, já mais adaptada aos conceitos de

tecnologia 4.0 (Internet das coisas, computação em nuvem etc.) tem maior propriedade para desenvolver sistemas que empregam este tipo de conceito.

Com a adesão da indústria brasileira às tecnologias da chamada “Quarta Revolução Industrial”, os fabricantes de componentes elétricos no Brasil tendem também a atualizar seu portfólio de produtos, tendo como objetivo a competitividade de preços, prazos e qualidade frente aos componentes europeus, asiáticos etc.

Pretende-se utilizar componentes nacionais, pois este emprego, além de movimentar a cadeia produtiva nacional, valoriza o produto brasileiro pelo desenvolvimento em conjunto, de soluções e ou componentes dedicados, além de parcerias que potencializam a presença das marcas no mercado interno.

Entre os componentes a serem nacionalizados temos:

- a. Caixa de montagem
- b. Componentes de proteção
- c. Dispositivos de segurança
- d. Dispositivos auxiliares de partida
- e. Inversor de frequência
- f. Componentes de interligação

Embora não haja possibilidade de flexibilizar o fabricante do inversor de frequência, este é o principal componente que pode ser adquirido no mercado nacional. A definição de suas especificações e tabela de endereços Modbus permitiu obter um modelo similar no Brasil.

Outros componentes como o relé de segurança, , fonte de alimentação 24vcc e dispositivos de proteção (disjuntores) são importantes fatores para a nacionalização do projeto e viabilidade de sua produção no Brasil.

3.3 Definição dos esquemas elétricos

O esquema elétrico a ser considerado na versão brasileira foi redesenhado segundo as necessidades dos usuários no Brasil, levando em consideração o que é permitido pela norma IEC 60439-3 (2015). Esta norma de propriedade do IEC (*International Electrotechnical Commission* – Comissão Internacional de Eletrotécnica)

permite aos fabricantes de componentes (disjuntores, relés, inversores, controladores lógicos) a emitirem guias de interpretação desta, que podem ser referências para boas práticas a serem seguidas na confecção de painéis de comando.

Os diagramas adaptados pela unidade brasileira levaram em consideração a funcionalidade dos componentes, sobretudo do controlador, embora este não possa ter a programação alterada.

Sob a orientação da norma IEC e em concordância com as normas NR, a principal diferença entre o circuito original e o circuito adaptado no Brasil, é a utilização do inversor de frequência no interior do painel de comando, algo que nem sempre é considerado nas montagens europeias. Este fator torna as dimensões do painel de comando maiores do que o proposto pelo projeto original. Tecnicamente outra diferença significativa está no circuito de segurança: as montagens no Brasil consideram contatos NA em série ligados aos dois canais do relé de segurança enquanto o projeto original utiliza apenas 01 canal.

3.4 Definição de material para compra e respectiva aquisição

O material a ser utilizado neste projeto necessitou ser previamente validado pela unidade fabril da Polônia (geradora do esquema original). Após esta validação, teve início o processo de aquisição dos componentes.

A unidade em questão avaliou o diagrama quanto à funcionalidade do sistema proposto em relação ao original, devendo o primeiro não omitir nenhuma função considerada fundamental na concepção do projeto. Funções adicionais podem ser propostas para atender a realidade da indústria local, porém sem comprometer as funções principais.

3.5 Montagem e testes

A montagem e os testes do protótipo geraram registros dos resultados obtidos. Estes registros foram fundamentais para a correção de desvios e posterior validação do equipamento nacionalizado. Toda atividade referente à execução do projeto seguiu documentação previamente gerada (lista de materiais, esquema elétrico, manuais de operação/configuração).

Os registros aplicáveis neste caso foram os *check lists* (lista de verificações de parâmetros) de montagem e operação do painel em inglês e português. Após o preenchimento destes documentos, o painel protótipo foi avaliado a partir destes registros e assim liberado para a fabricação.

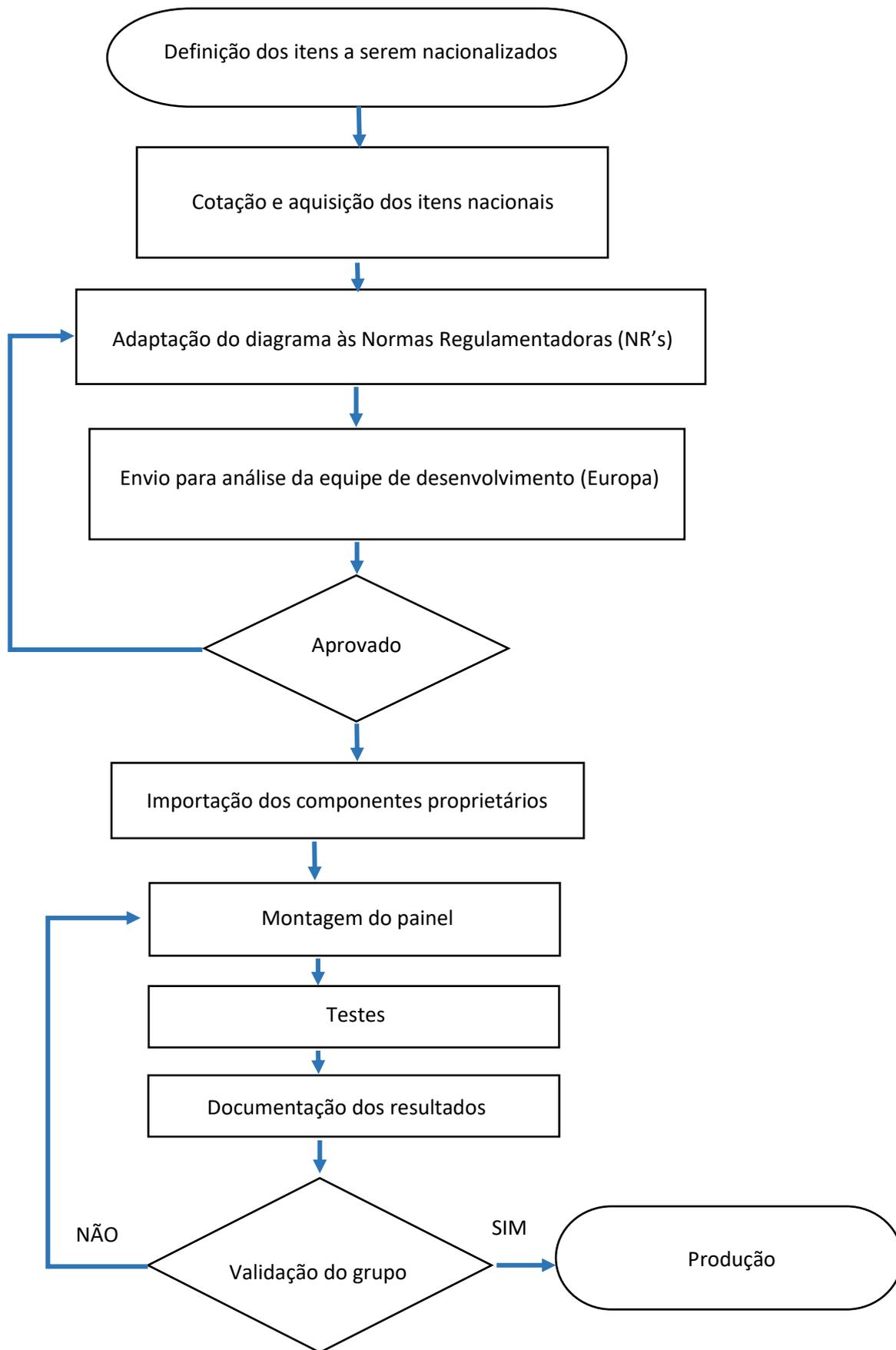
Para melhor apresentar o funcionamento e interação dos componentes do sistema, foi montado um painel sinótico análogo a um sistema de exaustão e filtragem, a fim de fornecer sinais analógicos e digitais para o controlador.

Na figura 25 a foto do circuito eletrônico análogo a um sistema de exaustão e filtragem, com os sinais de controle presentes no sistema incluindo alguns itens periféricos de uso opcional.



Figura [30]: Painel sinótico análogo a um sistema de exaustão. [53]

3.2.1.6 Fluxograma das atividades



4. RESULTADOS

Com a realização dos testes e da montagem do protótipo foram alcançados os resultados:

- Otimização da caixa de montagem do painel: utilizando a mesma caixa para montagem do controlador (CLP) e do inversor de frequência.
- Utilização do controlador e inversor de frequência ligado à rede 380/440V 60Hz: diferente da rede 400V 50Hz utilizada na Europa.
- Nacionalização dos componentes que segundo o projeto original seriam importados da Europa, porém devido às adaptações do projeto serão adquiridos no mercado nacional.
- Partida e comando de motor trifásico 7,5cv: o motor pode ser controlado pelo painel, que deve prover informações de frequência (Hz), tensão elétrica (V), corrente elétrica (A) e velocidade de rotação (rpm).
- Resposta à simulação de sinais analógicos e digitais: o controlador indica por meio de seu display IHM (Interface Homem Máquina) os status indicados pelo simulador de sensores. A programação deverá ser feita de modo a indicar condições de alerta mediante a certos níveis simulados.
- Leitura de histórico de dados: com a geração de condições de alerta, e alarme. Estes eventos ficam registrados no controlador e podem ser acessados posteriormente.
- Comunicação entre dispositivos por rede industrial: Comunicação entre CLP e inversor utilizando o protocolo de rede industrial Modbus RTU. Além disso é possível acessar os dados do IHM conectando o CLP a uma rede local.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu apresentar a integração dos conteúdos e competências desenvolvidas durante o curso de eletrônica industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP), bem como relacionar a importância e utilidade tanto no meio científico quanto no mercado de trabalho atual.

A nacionalização de um painel de comando, sobretudo que empregue tecnologia 4.0, permitiu ao usuário/proprietário do sistema estar atualizado quanto às tecnologias de controle e automação. Entre os controles digitalizados, a maioria dedicou-se ao monitoramento de atividade direta e indiretamente ligadas à produção. Por exemplo, sensores para monitorar atividades de esteiras, níveis de reservatórios de matéria prima, desvios dimensionais de produtos, quantidade de itens produzidos em um intervalo de tempo (unidades por hora).

O sistema de exaustão industrial, tem por finalidade impedir a contaminação do ar e por consequência preservar a saúde dos trabalhadores quando expostos à poluição gerada pelo processo aos quais operam. À medida em que esta preocupação ambiental e de saúde do trabalhador aumenta, cresce também a necessidade do controle da atividade do equipamento, uma vez que sua ineficiência pode ocasionar problemas que vão desde a autuação pelas autoridades ambientais, até danos à saúde do trabalhador.

Por esta razão, um sistema de exaustão controlado por um CLP (Controlador Lógico Programável), e acessível à uma rede industrial que o permita fornecer os dados em uma tecnologia de computação em nuvem (Cloud Computing) oferece as seguintes vantagens aos usuários:

- Acesso aos dados de atividade do equipamento em um sistema de monitoramento integrado. Exemplo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- Acesso remoto às informações geradas pelos sensores do sistema de exaustão e filtragem. Esta condição permite programar manutenções no sistema, ou corrigir algumas atividades que possam interferir no tempo de vida útil do elemento filtrante entre outras partes do sistema.
- Suporte ao cliente de modo mais preciso devido ao diagnóstico a partir da leitura dos gráficos e histórico de atividade do sistema.

6. PROJETOS FUTUROS

O desenvolvimento deste trabalho abriu espaço para novos projetos a serem desenvolvidos a partir dos conceitos de sistemas de exaustão e filtragem industrial e a automação e controle destes. Entre os projetos possíveis a partir deste, estão:

- Bancada didática para treinamento de instaladores, equipes de vendas, fornecedores e parceiros da empresa.
- *Retrofit* (atualização) dos sistemas de exaustão e filtragem antigos que não possuem esta tecnologia, considerando novas versões e adaptações dos seguintes elementos:
 - Software de monitoramento
 - Flexibilização do inversor de frequência pela adaptação dos parâmetros do controlador 3 em 1
 - Ajustes ou redimensionamento de alguns itens da parte mecânica, considerando que alguns elementos utilizados neste projeto possuem dimensões que os diferem um pouco dos componentes mais antigos.

7. REFERÊNCIAS

- [1] (<https://inforchannel.com.br/2018/02/04/apenas-29-das-empresas-brasileiras-conhecem-iiot-revela-estudo-da-abii/>) (acesso em 28/05/22)
- [2] MACINTYRE, Archibald Joseph – Ventilação Industrial e Controle da Poluição (2ª Ed. 2019 - Ed LTC, página 3).
- [3] (<https://www.nederman.com/pt-br/knowledge-center/filtragem-industrial-qual-a-importancia-e-seus-beneficios>) (acesso em 28/05/22)
- [4] Arquivo pessoal
- [5] <https://www.nederman.com/pt-br/pws-catalog/p/bracos-de-extracao-original/bracos-extratores-original#> (acesso em 08/06/2022).
- [6] <http://www.arnatural.com.br/ventilacao/sistema-para-exaustao-e-filtragem-de-ambientes.html> (acesso em 08/06/2022).
- [7] <https://www.nederman.com/pt-br/pws-catalog/p/filtro-fmc/filtro-fmc-de-cartuchos#>
- [8] <https://ecofiltros.com.br/cabines-de-pintura/> (acesso em 05/02/2022)
- [9] <https://solerpalau.com.br/index.php/home/areaproductos?cid=11&pid=37&a=1> [acesso em 02/02/2022]
- [10] <https://www.corbari.com.br/exaustor-industrial> [acesso em 09/06/22]
- [11] <https://solerpalau.com.br/biblioteca/produto/027/LMS-010-2020-J.pdf> [acesso em 07/08/22].
- [12] <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/W22-/W22-IR3-Premium-7-5-cv-4P-L112M-3F-220-380-440-V-60-Hz-IC411---TFVE---B14D/p/12219733> [acesso em 07/08/22]

[13] Arquivo pessoal

[14] <https://www.mundodaeletrica.com.br/disjuntor-motor-aplicacoes-caracteristicas-funcionamento/#:~:text=A1%C3%A9m%20de%20servir%20como%20dispositivo,de%20bot%C3%B5es%20liga%20e%20desliga.> [acesso em 11/06/22]

[14] <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/controles-industriais/disjuntor-motor.html> [acesso em 09/06/2022]

[15] https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Disjuntores/Minidisjuntores/Minidisjuntores-MDW/Minidisjuntores-MDW/p/MKT_WDC_BRAZIL_PRODUCT_CIRCUIT_BREAKER_MDW [acesso em 09/06/2022]

[17] https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9d161737-bbb2-49ad-b977-c20bb00d350e/fichas-tecnicas-jul19.pdf?ste_sid=6cbc9d868e79e420efcd5d21e0ecfc32 (acesso em 07/08/22)

[17] <https://static.weg.net/medias/images/h1c/h7c/Curva-de-disparo-mdw-o.webp?cimgnr=NzqDu> (acesso em 07/08/22)

[18] <https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/fontes-de-alimentacao-montagem-din/edr-75-fonte-de-alimentacao-chaveada-75w-para-trilho-din> [acesso em 09/06/2022]

[19] <https://www.metaltex.com.br/assets/produtos/pdf/edr-75.pdf> [acesso em 07/08/22]

[20] <http://www.hidropocos.com.br/vlt-hvac-drive-fc102.php> [acesso em 02/02/22]

[21] https://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPPFP102A402_FC102_LR.pdf [acesso em 07/08/22]

[22] <https://www.krausnaimer.com.br/produtos/seccionadoras-para-baixa-tensao/seccionadoras-kg/> [acesso em 09/06/22]

[23] <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/controles-industriais/rele-de-seguranca-3sk1.html> [Acesso em 05/03/22]

[24] https://www.automation.siemens.com/bilddb/ivariant/IC01/G_IC01_XX_00274i.jpg [acesso em 07/08/22]

[25] Arquivo pessoal.

[26] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:d868a023-2991-476e-8747-bc771f9ad562/catalogo-simatic-s7-1500-jul21-net.pdf> [acesso em 31/12/2021]

[27] <https://loja.se.com/controlador-logico-programavel-schneider-tm200ce24r-14-entradas-cc-10-saidas-a-rele--comunicacao-ethernet--alimentacao-110-220vac-1101564/p> [acesso em 31/12/2021]

[28] <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/simatic-hmi/paineis-basicos.html> [acesso em 31/12/2021]

[29] <https://loja.se.com/interface-homem-maquina-schneider-hmigxu3512-colorida-7quot-widescreen-tft-com-ethernet-1101662/p> [acesso em 31/12/2021]

[30] <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-ethernet/industrial-iot-gateway-simatic-cloudconnect-7.html> [acesso em 31/12/2021]

[31] <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-ethernet/industrial-iot-gateway-simatic-cloudconnect-7.html> [acesso em 31/12/2021]

[32] <https://www.se.com/ww/en/product-range/2333-powerlogic-egx300/#overview> [acesso em 31/12/2021]

[33] https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Ramirez-Beltran/publication/282672562_TRANSMISSOR_DE_PRESSAO_DIFERENCIAL_D_E_ALTISSIMA_PRECISAO_E_CONFIABILIDADE_TRANSMISSOR_DE_PRESSAO_DIFERENCIAL_DE_ALTISSIMA_PRECISAO_E_CONFIABILIDADE/links/5618120408ae6d17308494dc/TRANSMISSOR-DE-PRESSAO-DIFERENCIAL-DE-

[ALTISSIMA-PRECISAO-E-CONFIABILIDADE-TRANSMISSOR-DE-PRESSAO-DIFERENCIAL-DE-ALTISSIMA-PRECISAO-E-CONFIABILIDADE.pdf](#) , [página 3 - capítulo 2.1 - acesso em 28/05/22]

[34] https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/datasheet_np785_v20x_pt.pdf
[acesso em 04/06/22]

[35] https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/datasheet_np785_v20x_pt.pdf
[acesso em 07/08/22]

[36] https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/datasheet_np785_v20x_pt.pdf
[acesso em 07/08/22]

[37] https://www.wika.com.br/psm02_pt_br.WIKA [acesso em 31/12/2021]

[38] https://www.wika.com.br/upload/DS_PV3482_pt_br_85812.pdf [acesso em 07/08/22]

[39] https://www.wika.com.br/upload/DS_PV3482_pt_br_85812.pdf [acesso em 07/08/22]

[40] CAPELLI, Alexandre – Automação Industrial. Controle do movimento e processos contínuos, Ed. Erica (2ªed. 2008, pág. 147 a 152).

[41] <http://www.productselection.net/table.php?LANG=UK&PG=032&FAMILY=000>
[acesso em 31/12/2021]

[42] <http://www.productselection.net/PDF/UK/ca30can25nam1.pdf> [acesso em 07/08/22]

[43] <https://www.sick.com/br/pt/ramos-industriais/materiais-de-construcao/industria-de-cimento/extracao-e-preparacao-da-materia-prima/homogeneizacao-e-armazenagem/monitoramento-da-operacao-da-valvula-rotativa-no-transporte-de-materiais/c/p510955> [acesso em 28/05/2022]

[44] <https://www.ifm.com/br/pt/product/IGS232> [acesso em 31/12/21]

[45] <https://www.ifm.com/br/pt/product/IGS232> [acesso em 07/08/22]

[46] https://www.wika.com.br/tr30_pt_br.WIKA [acesso em 06/01/22]

[47] https://www.wika.com.br/upload/DS_TE6001_pt_br_74263.pdf [acesso em 07/08/22]

[48] <https://www.ifm.com/br/pt/product/VKV022> [acesso em 08/01/22]

[49] <https://www.ifm.com/br/pt/product/VKV022?tab=details> [acesso em 07/08/22]

[50] NR10 — Fonte: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf> [Acesso em 06/03/22].

[51] NR 12 – Fonte: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf> [Acesso em 06/03/22].

[52] Página oficial da IEC (em português): <https://iec.ch/homepage> [Acesso em 06/03/22].

[53] Fonte: arquivo pessoal

ANEXO I – LISTA DE ABREVEAÇÕES E ACRÔNOMOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABII: Associação Brasileira de Internet Industrial

CLP: Controlador Lógico Programável

FATEC-SP: Faculdade de Tecnologia de São Paulo

IEC: International Electrotechnical Comitê – Comitê Internacional de Eletrotécnica

IHM: Interface Homem Máquina

IIoT: Industrial Internet of Things – Internet das Coisas para aplicações industriais

NR : Norma Regulamentadora