



# INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL ? ARQUITETURA TIPO E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS EVOLUÍDAS

**NUNO FILIPE SOUSA SANTOS**

outubro de 2024

**INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL – ARQUITETURA  
TIPO E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS EVOLUÍDAS**

**Nuno Filipe Sousa Santos**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia**

**Orientador: Sérgio Filipe Carvalho Ramos**

**Júri:**

Presidente

Fernando Maurício Teixeira De Sousa Dias, Professor Adjunto, ISEP

Vogais

Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras, Professor Adjunto, ISEP

Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Professor Adjunto, ISEP



# Resumo

Este trabalho tem como objetivos a identificação do estado atual da instrumentação industrial e cibersegurança nesse contexto. São abordadas as principais tecnologias de instrumentação, incluindo arquiteturas de aquisição e comunicação de dados, com foco em parâmetros críticos como temperatura, nível, pressão e caudal. Além disso, a pesquisa explora medidas para implementar efetivamente a cibersegurança na instrumentação industrial.

O trabalho visa dimensionar uma solução de engenharia na área de instrumentação industrial, com ênfase no desenvolvimento de uma infraestrutura que procura garantir a segurança das comunicações no escopo do projeto. O conjunto desses objetivos contribuirá para uma análise abrangente e aprofundada, proporcionando *insights* significativos para a compreensão e aplicação prática desses conceitos na indústria.

Este estudo inclui um caso prático, fazendo uma análise de um projeto industrial proposto pela empresa QUADRANTE. Onde vai ser feito um balanço do orçamento necessário para implementação do mesmo e a respectiva caracterização e disposição dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Automação Industrial; Cibersegurança; Indústria 4.0; Instrumentação Industrial; Protocolos de Comunicação; Sensores.



# Abstract

The dissertation aims to identify the current state of industrial instrumentation and cybersecurity in this context. It addresses the main instrumentation technologies, including data acquisition and communication architectures, with a focus on critical parameters such as temperature, level, pressure, and flow. In addition, the research explores measures to effectively implement cybersecurity in industrial instrumentation.

This project seeks to design an engineering solution in the field of industrial instrumentation, with an emphasis on creating an infrastructure that ensures the security of communications within the project's scope. The combination of these objectives will contribute to a comprehensive and in-depth analysis, providing significant insights for the understanding and practical application of these concepts in the industry.

This study includes a practical case, analysing an industrial project proposed by the company QUADRANTE. It will assess the necessary budget for its implementation, along with the respective characterization and arrangement of the equipment.

**Keywords:** Communication Protocols; Cybersecurity; Industry 4.0; Industrial Automation; Industrial Instrumentation; Sensors.



# Agradecimentos

Primeiramente gostaria de expressar o meu agradecimento ao meu orientador, Professor Sérgio Ramos por ter tornado a realização desta tese possível e cuja orientação foi essencial. Gostaria também de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia Politécnico do Porto que tão bem me acolheu desde o primeiro dia.

Um agradecimento especial à empresa Quadrante, pela oportunidade de realizar o estágio na empresa e ser inserido na equipa. Obrigado ao meu supervisor, ao Engenheiro Márcio Sousa, pela ajuda para enfrentar as adversidades na realização das tarefas propostas, proporcionando uma ótima experiência a diversos níveis.

À minha namorada, minha maior inspiração e companheira incondicional, por me incentivar a sonhar mais alto e me lembrar diariamente do verdadeiro valor do esforço e da perseverança. A tua presença constante e apoio nos momentos mais desafiantes permitiram que eu alcançasse este marco com coragem e determinação.

Aos meus pais, por todo o amor, paciência e suporte incansável ao longo de todos estes anos. Vocês não só me deram a educação e as ferramentas necessárias para perseguir os meus sonhos, mas também me ensinaram os valores fundamentais que moldaram quem sou hoje. Sem o vosso exemplo de dedicação e sacrifício, nada disto seria possível.

Por último, gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese.

Com profunda gratidão, a todos vós dedico este trabalho.



# Índice

<b>1</b>	<b>Estrutura do Documento</b> .....	<b>1</b>
1.1	Introdução.....	1
1.2	Contextualização.....	1
1.3	Objetivos .....	2
1.4	Estrutura da Dissertação .....	2
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>5</b>
2.1	Introdução.....	5
2.2	Instrumentação Industrial.....	5
2.3	Protocolos de Comunicação .....	8
2.4	Sensores .....	13
2.5	Cibersegurança .....	18
2.6	Conclusões .....	24
<b>3</b>	<b>Instrumentação Industrial</b> .....	<b>25</b>
3.1	Sensores .....	25
3.2	Transmissores.....	32
3.3	Controladores.....	33
3.4	Sistemas de Aquisição de Dados.....	34
3.5	Válvulas de Controlo .....	35
3.6	Human Machine Interface (HMI).....	36
3.7	Tecnologias de Comunicação .....	37
3.8	Calibração e Teste .....	37
3.9	Tecnologias de Análise .....	38
3.10	Software de Gestão da Instrumentação.....	39
<b>4</b>	<b>Caso de Estudo</b> .....	<b>41</b>
4.1	Descrição geral do Caso de Estudo .....	41
4.2	Sensores das Arquiteturas.....	45
4.2.1	Caracterização dos Sensores.....	45
4.2.2	Sensores de Pressão.....	49
4.3	Índice de Proteção .....	51
4.4	Aquisição de Dados.....	52
4.4.1	STBAC11400K DE E/S Distribuídas .....	52
4.4.2	Modicon TM3 TM3AI8.....	53

4.4.3	IO-LINK Master AL1326 .....	54
4.5	Módulos de Transferência de Dados .....	55
4.5.1	Modicon TM3 Módulo de IO Distribuído TM3BCEIP .....	55
4.5.2	Modicon TM3 TM3XREC1 e TM3XTRA1 .....	56
4.5.3	Módulo de Interface de Rede STB STBNIP2311 .....	57
4.6	Fontes de Alimentação .....	58
4.6.1	Fontes de Alimentação IFM .....	59
4.6.2	Fontes de Alimentação SCHNEIDER .....	60
4.7	Switch de 5 Portas MCSESU053FN0 .....	61
4.8	Autômatos Programáveis .....	62
4.8.1	PLC Modicon M340 BMXP342020 .....	63
4.8.2	PLC Modicon M262 TM262L01MESE8T .....	64
4.9	Dispositivos Para Proteção da Rede Industrial .....	66
4.10	Protocolo de Comunicação TCP/IP e ETHERNET/IP .....	68
4.11	Arquiteturas Modelo .....	69
4.11.1	Arquitetura IO-Link .....	70
4.11.2	Cabelagens e Equipamentos da Arquitetura IO-Link .....	75
4.11.3	Arquitetura Bus Coupler .....	79
4.11.4	Cablagem e Equipamentos da Arquitetura <i>Bus Coupler</i> .....	83
4.11.5	Arquitetura M340 .....	87
4.11.6	Cablagem Para a Arquitetura M340 .....	89
<b>5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>91</b>
5.1	Considerações Finais .....	91
5.2	Contributos .....	92
5.3	Trabalho Futuro .....	92

# Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura exemplo do projeto.....	2
Figura 2 - Comparação entre o método convencional e o de U-ISFE [9]. .....	8
Figura 3 - Arquitetura SCADA [11]. .....	9
Figura 4 - Exemplo de um sistema de gerenciamento de água. ....	16
Figura 5 - Diagrama do circuito de fluxo [26].....	17
Figura 6 - Imagem do sensor de distribuição de pressão em funcionamento [28]. .....	18
Figura 7 - Sistema VOTNet proposto [33]. .....	21
Figura 8 - As quatro etapas para proteger a rede de TI/TO [35]. .....	22
Figura 9 - Exemplo de arquitetura IIoT baseada no modelo Purdue [32].....	23
Figura 10 - PLC vs DCS. ....	34
Figura 11 - Válvulas Globo, Borboleta e Esférica. ....	35
Figura 12 - Planta da Fábrica CALB.....	42
Figura 13 - Processo CDA. ....	43
Figura 14 - Processo GN2. ....	44
Figura 15 - Processo PCW.....	45
Figura 16 - Sensores TA2115, TA3115, TA2232 e TA2242. ....	46
Figura 17 - Sensores PP7554 e PT9554 da IFM. ....	49
Figura 18 - Índices de Proteção.....	52
Figura 19 - STBACI1400K. ....	53
Figura 20 - TM3AI8.....	53
Figura 21 - AL1326.....	54
Figura 22 - TM3BCEIP.....	55
Figura 23 - Conexão TM3. ....	56
Figura 24 - STBNIP2311.....	57
Figura 25 - Conexão STB.....	58
Figura 26 - Fontes de Alimentação DN4012, DN4034 e E84036.....	59
Figura 27 - ABLM1A24006, ABLM1A24012, ABLM1A24025 e ABLS1A24021.....	60
Figura 28 - Switch MCSESU053FN0.....	61
Figura 29 - PLC Modicon M340. ....	64
Figura 30 - PLC Modicon M262. ....	65
Figura 31 - Router FL MGuard RS4000 e Modicon Networking TCSEFEC23F3F21. ....	66
Figura 32 - Arquitetura IO-Link. ....	71
Figura 33 - Distribuição dos Mestres IO-Link (sala 1).....	74
Figura 34 - Distribuição dos Mestres IO-Link (sala 2).....	75
Figura 35 - Alimentação em Série IO-Link Master .....	75
Figura 36 - Arquitetura Bus Coupler. ....	81
Figura 37 - Distribuição das Ilhas <i>Bus Coupler</i> (sala 1).....	82
Figura 38 - Distribuição das Ilhas <i>Bus Coupler</i> (sala 2).....	83
Figura 39 - Arquitetura M340. ....	88
Figura 40 - Anexo A: Processo PCW. ....	98

Figura 41 - Anexo B: Processo CDA. ....	99
Figura 42 - Anexo C: Processo GN2. ....	100
Figura 43 - Anexo Relativo ao Processo GN2 .....	100
Figura 44 - Anexo D: planta da sala 1 (IO-Link). ....	101
Figura 45 – Anexo E: Planta da Sala 2 (IO-Link).....	101
Figura 46 - Anexo F: Sala 1 (Bus Coupler).....	102
Figura 47- Anexo G: Sala 2 (Bus Coupler).....	102

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estudo Relativo à Instrumentação Industrial. ....	6
Tabela 2 - Protocolos de Comunicação. ....	9
Tabela 3 - Estudo Relativo aos Sensores Industriais. ....	14
Tabela 4 - Estudo Relativo à Cibersegurança. ....	19
Tabela 5 - Características dos Sensores de Temperatura. ....	26
Tabela 6 - Características dos Sensores de Pressão. ....	27
Tabela 7 - Características dos sensores de Nível. ....	28
Tabela 8 - Características dos Sensores de Caudal. ....	29
Tabela 9 - Características Principais dos Sensores de Proximidade. ....	31
Tabela 10 - Características dos Sensores de pH. ....	32
Tabela 11 - Características Gerais do sensor TA2115. ....	47
Tabela 12 - Características Gerais do sensor TA2232. ....	48
Tabela 13 - Características Gerais do sensor PP7554. ....	49
Tabela 14 - Características Gerais do sensor PT9554. ....	50
Tabela 15 - Principais Diferenças entre os PLC's M340 e M262. ....	62
Tabela 16 - Características dos 2 Routers. ....	66
Tabela 17 - Pacotes Presentes no Ethernet/IP. ....	68
Tabela 18 - Dimensionamento da Cablagem para a Sala 1 (IO-Link). ....	76
Tabela 19 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 2 (IO-Link). ....	77
Tabela 20 - Equipamentos presentes na sala 1 (IO-Link). ....	78
Tabela 21 - Equipamentos Disponíveis na Sala 2 (IO-Link). ....	78
Tabela 22 - Sensores Disponíveis na Sala 1 (IO-Link). ....	79
Tabela 23 - Sensores Disponíveis na Sala 2 (IO-Link). ....	79
Tabela 24 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 1 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	83
Tabela 25 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 2 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	84
Tabela 26 - Equipamentos presentes na sala 1 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	85
Tabela 27 - Equipamentos presentes na sala 2 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	86
Tabela 28 - Sensores Disponíveis na Sala 1 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	86
Tabela 29 - Sensores Disponíveis na Sala 2 ( <i>Bus Coupler</i> ). ....	87
Tabela 30 - Dimensionamento da Cablagem na sala 1 (M340). ....	89
Tabela 31 - Dimensionamento da Cablagem na sala 2 (M340). ....	90

# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>ASE</b>	Automação de Sistemas de Energia
<b>CISA</b>	<i>Cybersecurity and Infrastructure Security Agency</i>
<b>DCS</b>	<i>Distributed Control System</i>
<b>DDoS</b>	<i>Distributed Denial-of-Service</i>
<b>ECT</b>	<i>Engine Coolant Temperature</i>
<b>ETAP</b>	<i>Electrical Transient Analyzer Program</i>
<b>IIoT</b>	<i>Industrial Internet of Things</i>
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>MAC</b>	Método de Autenticação baseado em Código
<b>MEMS</b>	<i>Micro Electromechanical Systems</i>
<b>OPC</b>	<i>Open Platform Communications</i>
<b>PLC</b>	<i>Programmable Logic Controller</i>
<b>SCAI</b>	Sistemas de Controlo e Automação Industrial
<b>SCADA</b>	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
<b>SHM</b>	<i>Structural Health Monitoring</i>
<b>TI</b>	Tecnologia de Informação
<b>TO</b>	Tecnologia Operacional
<b>MEMS</b>	Micro-Electro-Mechanical Systems

# 1 Estrutura do Documento

## 1.1 Introdução

Este trabalho foi realizado em parceria com a empresa QUADRANTE e tem como propósito a conceção de uma solução de engenharia no contexto da instrumentação industrial. A abordagem fundamenta-se numa infraestrutura que assegure a segurança das comunicações (em ambiente industrial), além da caracterização das principais tecnologias aplicadas na instrumentação industrial, incluindo a arquitetura de aquisição de dados.

Este propósito engloba a medição de parâmetros essenciais, como a temperatura, níveis, pressão e caudal. Adicionalmente, este trabalho contempla, também, uma vertente dedicada à cibersegurança visando a proteção e integridade dos dados envolvidos.

O presente capítulo tem como objetivo apresentar brevemente o trabalho e contextualizá-lo, assim como evidenciar os principais objetivos planeados, a estrutura da dissertação, e um cronograma planeado para as atividades realizadas.

## 1.2 Contextualização

Este projeto foi proposto pela empresa QUADRANTE e tem como principal objetivo investigar o estado atual da arte no campo da instrumentação industrial e da cibersegurança associada. O foco principal é, pois, aprofundar a compreensão das principais tecnologias de aquisição e transmissão de dados, abrangendo parâmetros cruciais como a temperatura, nível, pressão e caudal. A partir dessa análise, pretende-se desenvolver uma solução de engenharia que englobe instrumentação/automação industrial e cibersegurança, visando a proteção de dados entre o autómato e o servidor (ver Figura 1). Além disso, existe a possibilidade de incorporar um complemento relativo aos estudos de energia, utilizando o programa ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) que é uma ferramenta para a execução e realização de análises complexas relativamente aos sistemas de energia. Para implementar o projeto de instrumentação e automação, está previsto o uso do programa EcoStruxure da Schneider.

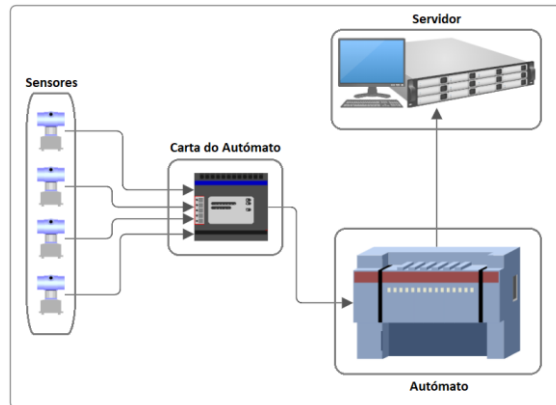


Figura 1 - Arquitetura exemplo do projeto.

### 1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação é o estudo das principais tecnologias usadas na instrumentação industrial relativamente à comunicação e aquisição de dados, assim como projetar uma solução de engenharia capaz de assegurar todos os requisitos necessários, incluindo a proteção de dados. Dada a complexidade do projeto, sentiu-se a necessidade de subdividir em múltiplas tarefas para um melhor planeamento, tais como:

- Estudo relativo à instrumentação/automação industrial;
- Estudo relativo à cibersegurança para a proteção de dados;
- Medidas de implementação de cibersegurança na instrumentação/automação industrial;
- Dimensionamento de uma solução no âmbito da instrumentação industrial, alicerçada numa infraestrutura que garanta a segurança das comunicações;
- Escrita da dissertação.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em 5 capítulos principais. O primeiro capítulo é uma introdução ao tema, tendo uma lista de objetivos que o trabalho propõe alcançar.

O segundo capítulo explora o estado atual da arte sobre a instrumentação e automação industrial, assim como a importância da cibersegurança. Enuncia, também, os protocolos de comunicação mais usados na indústria, assim como a importância dos sensores e a sua devida escolha. A principal conclusão deste capítulo será descrita no ponto 2.5.

O capítulo 3 visa explicar a metodologia usada para a elaboração deste projeto, desde a escolha da abordagem de pesquisa até os detalhes práticos relativos à coleta e análise de dados.

O capítulo 4 tem como objetivo explorar o caso de estudo, em que vai ser descrito a metodologia que foi aplicada, e por último, temos o capítulo 5, que apresenta uma conclusão geral de todo o trabalho, onde são discutidos os principais resultados retirados do projeto, contribuições e perspectivas futuras.



## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Introdução**

Este capítulo aborda o estado atual da instrumentação industrial, com especial ênfase nas tecnologias usadas na indústria, protocolos de comunicação, sensores de pressão, nível, caudal e temperatura. Além disso, destaca-se a vital importância da cibersegurança na proteção dos dados transmitidos aos sistemas de controle, conforme referenciado em [1].

A pesquisa realizada também inclui a análise de literatura que, embora alguns temas abordados possam não se enquadrar precisamente na área da instrumentação industrial, apresentam relevância em outros contextos, permitindo uma compreensão mais abrangente das interconexões entre diferentes áreas.

Com a crescente evolução tecnológica que instaurou o paradigma da indústria 4.0 e a constante busca por uma sociedade mais sustentável, torna-se imperativo otimizar continuamente os processos de fabrico [2]. Essa otimização deve ser conduzida de maneira a proporcionar flexibilidade, garantindo eficácia, eficiência e o cumprimento das metas ambientais estabelecidas. Neste contexto, a instrumentação industrial desempenha um papel vital, sendo a disciplina responsável por fornecer os dados necessários para o controle abrangente de qualquer processo de fabrico [3].

### **2.2 Instrumentação Industrial**

A instrumentação industrial desempenha um papel crucial no aumento da eficiência e no controle dos processos industriais. É uma componente chave em vários setores, incluindo indústrias químicas, manufatureiras, aeroespaciais, entre outras.

A importância do controle de processos na instrumentação industrial é fundamental para garantir a estabilidade da qualidade dos produtos e a segurança dos processos industriais. Indústrias que têm como base engenharia química e metalúrgica, são caracterizadas por

operações em grande escala, com forte acoplamento e alta integração, onde a segurança e a qualidade do processo são de extrema importância [4].

Tabela 1 - Estudo Relativo à Instrumentação Industrial.

Referência	Foco	Principais Objetivos	Metodologia	Limitações
[5]	Desafios da Automação Industrial	Revisão do Modelo ISA-95	Modelo ISA-95 e seu papel no suporte a sistemas de manufatura	Fala pouco de outras estruturas e tecnologias na Automação Industrial
[6]	Deteção de descargas industriais usando <i>machine learning</i>	Desenvolvimento de um sistema de alarme baseado em <i>machine learning</i>	Classificação binária de <i>machine learning</i> , usando instrumentação online	Demonstração teórica da aplicação, não há uma implementação em contexto real
[7]	Discussão sobre o progresso da Instrumentação Industrial no controlo mecatrónico	Tecnologias de controlo mecatrónico e perspectivas para o futuro da Instrumentação	Revisão e discussão da literatura	Cobertura limitada de alguns tópicos e pontos de vista
[8]	Atuadores, IoT e endereço IP	Estudo na área de Instrumentação Industrial, com foco em atuadores, IoT e endereço IP	Ensino teórico e prático, incluindo visitas laboratoriais e aconselhamento	Demasiada informação tendo em conta que o ensino é limitado a um dia
[9]	Proposta de um motor de estrutura de sistema unificado para Sistemas de Instrumentação Industrial	Resolver problemas relacionados à flexibilidade, extensibilidade e configurabilidade	Soluções baseadas nas práticas de sistemas de engenharia, para definir requisitos de um motor	Falta de detalhes sobre os desafios específicos encontrados
[10]	Desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem moderno para o ensino de mecatrónica	Fornecer detalhes práticos sobre PLCs, motores e sensores	Implementação prática de uma configuração modular em laboratório	Escopo limitado para aplicações avançadas de automação industrial

Na referência [5], fala-se no crescimento dos dispositivos de IIoT e na convergência da TI e TO como as principais tendências na automação industrial, trazendo alguns desafios ao nível da segurança.

O ISA-95 é usado para integrar sistemas e processos em um ambiente de fabricação e garante que eles trabalhem juntos de maneira coordenada e eficiente. O modelo consiste em seis níveis, em que cada um representa um aspecto diferente do processo de fabrico, desde o nível de processo até a rede empresarial. O ISA-95 é amplamente utilizado na indústria de automação para garantir a interoperabilidade entre sistemas e processos de fabrico.

Em [6], é proposto o uso de instrumentação *online* avançada para monitorizar a qualidade da água em instalações de reutilização de água e detetar descargas industriais. A instrumentação online é uma tecnologia que permite a medição contínua e em tempo real de parâmetros de qualidade da água, como pH, turbidez, condutividade, entre outros, para análise e controlo do processo.

Em [7], o sistema *master-slave* apresentou um controlo bilateral mais avançado, é um sistema projetado para facilitar as interações entre sistemas mecatrônicos e humanos, particularmente no contexto da sensação ao toque, que envolve vibração, pressão, entre outros. É um sistema muito bom para ser implementado em zonas da indústria em que seja de difícil acesso ao ser humano.

Na referência [8], reforça o papel dos atuadores, IoT e protocolos IP que são cruciais na automação industrial, pois desempenham um papel vital na conversão de sinais de controlo em ação física, permitindo a automação de diversos processos industriais, como controlo de válvulas, motores e movimentos robóticos. A IoT facilita a conectividade e a comunicação de dispositivos e sistemas, permitindo a troca e o controlo contínuos de dados em ambientes industriais esta conectividade melhora a monitorização, o controlo e a otimização dos processos industriais. Além disso, os endereços IP são essenciais para a rede e a comunicação, permitindo a integração e coordenação de vários dispositivos e componentes.

Em [9], é proposto um U-ISFE (*Unified Instrumentation System Framework Engine*), que pode ser aplicado a vários sistemas externos de controlo de processos, como *Programmable Logic Controllers* (PLCs), DCSs. Fornece flexibilidade, extensibilidade e configurabilidade para sistemas de instrumentação industrial. Fornece uma estrutura unificada para a configuração dinâmica, construção, execução e ajuste de recursos operacionais de sistemas de instrumentação alvo. Usa *ONU Management Control Interface* (OMCI) para definir os recursos operacionais de sistemas de instrumentação alvo, incluindo os componentes de deteção, algoritmos de processamento de dados e mecanismos de apresentação de dados, este processo pode ser ilustrado através da figura 2.

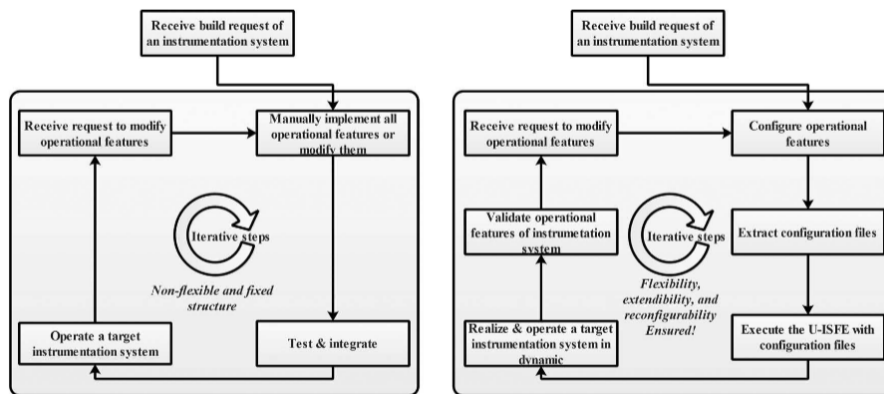


Figura 2 - Comparação entre o método convencional e o de U-ISFE [9].

Na referência [10], destaca-se a importância das pessoas terem uma educação nas áreas da automação/instrumentação industrial e como é importante a implementação de sistemas mecatrônicos modulares, e o uso de PLCs. Destaca principalmente como estas tecnologias são amplamente utilizadas em vários setores da indústria para melhorar a eficiência, a produtividade e a qualidade da mesma.

### 2.3 Protocolos de Comunicação

Os protocolos de comunicação são fundamentais na instrumentação industrial, pois permitem a interconexão e a coordenação eficiente de dispositivos e sistemas. Eles são responsáveis por estabelecer um conjunto de regras para a troca de informações, garantindo que os dados sejam transmitidos de maneira confiável e compreensível entre diferentes equipamentos, como sensores, atuadores, autômatos programáveis (PLCs) e sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), um exemplo desta arquitetura pode ser visto na figura 3.

A importância desses protocolos reside na sua capacidade de otimizar processos, aumentar a eficiência da produção, reduzir custos e melhorar a segurança, para expor melhor todos os protocolos existentes na indústria foi feita uma tabela 2.

Estes protocolos possibilitam a automação de tarefas repetitivas, através de análises em tempo real das condições de operação, a detecção precoce de falhas e a manutenção preditiva. Além disso, a padronização dos protocolos de comunicação facilita a integração de novos dispositivos e a expansão de sistemas existentes, contribuindo para a escalabilidade e flexibilidade das operações industriais.

Num ambiente industrial mais conectado e inteligente, como por exemplo, o ambiente promovido pelo paradigma da Indústria 4.0, os protocolos de comunicação desempenham um papel ainda mais crítico. Eles são a espinha dorsal da IIoT, permitindo que máquinas, sistemas e pessoas interajam e colaborem de maneira mais eficaz.

A escolha do protocolo adequado depende de vários fatores, incluindo o tipo de aplicação, os requisitos de desempenho, a distância de comunicação, a robustez frente a interferências e a

facilidade de implementação/manutenção [11]. A comunicação eficiente de dados entre sensores e controladores é essencial para assegurar a integridade e precisão das informações recolhidas. Este processo viabiliza uma supervisão eficaz dos processos industriais, a tomada de decisões em tempo real e a otimização da eficiência operacional. Uma comunicação eficaz facilita a integração de dados em diferentes estágios das operações industriais, contribuindo para uma cadeia de informações completa e precisa [12].

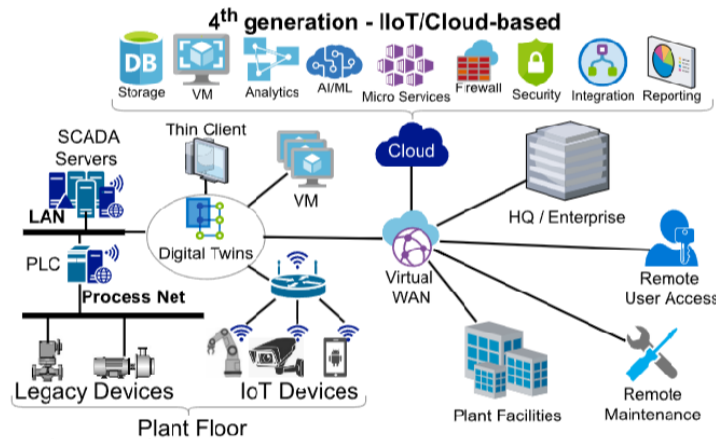


Figura 3 - Arquitetura SCADA [11].

Tabela 2 - Protocolos de Comunicação.

Referência	Protocolo	Vantagens	Desvantagens
[13]	Modbus	Simplicidade, fácil implementação e ampla adoção na indústria	Limitado em termos de velocidade e funcionalidades avançadas
[14]	CANopen	Alta robustez, adequado para sistemas embarcados	Complexidade na configuração e limitações de distância
[15]	Devicenet	Redução de cabeamento e custos, automação de processos, robusto	Velocidade e transmissão limitada, complexidade na configuração
[16]	Hart	Compatibilidade com sistemas 4-20mA e fácil de usar	Velocidade de comunicação lenta, limitado a pequenas distâncias

[17]	OPC	Interoperabilidade entre diferentes dispositivos e sistemas	Dependência de plataforma Windows, problemas de segurança
[18]	EtherCAT	Alta velocidade, tempo real, bom suporte relativo ao <i>hardware</i>	Implementação complexa, dependência de <i>hardware</i> específico
[19]	AS-interface	Simplicidade, baixo custo, adequado para dispositivos de baixa complexidade	Limitado em termos de funcionalidades e velocidade
[20]	Ethernet/IP	Uso de infraestrutura Ethernet padrão, alta velocidade	Maior latência em comparação com outros protocolos industriais
[21]	Profibus	Suporta uma grande quantidade de dispositivos, robusto	Complexidade na configuração, limitações de distância
[22]	Profinet	Alta velocidade, suporta comunicação em tempo real	Implementação complexa, dependência de <i>hardware</i> específico

Na referência [13], é apresentado um método para o monitoramento e controlo remoto de uma bomba de água através de um PLC-1200 da Siemens utilizando o protocolo Modbus RTU. O Modbus destaca-se pela sua simplicidade, não necessita de *hardware* dedicado no nível físico, conta com um mecanismo seguro para a deteção de erros e tem uma natureza de código aberto. Modbus RTU facilita a comunicação estável e rápida entre sistemas de automação e dispositivos de campo, o que é crucial para comunicações de longa distância em ambientes industriais. Neste artigo é utilizado para uma comunicação entre um PLC S7-1200 e uma ET200SP da Siemens, que inclui um módulo de comunicação CM PTP RS422/485. Esta solução é eficiente porque utiliza um único par trançado de cabos para transmissão de dados entre o *master* (PLC) e o *slave* (*soft starter*), em vez de cablar cada equipamento individualmente. A distância máxima para transmissão de dados através do Modbus RTU é de 1000 metros e o artigo fornece uma configuração de software usando o SIEMENS TIA Portal v15.1 para facilitar esta comunicação.

Em [14], podemos ver que o protocolo de comunicação CANopen foi utilizado em testes e verificação de sistemas de elevadores de passageiros, isso envolveu simulação de componentes, integração de componentes reais e teste de componentes disponíveis no mercado em uma fase inicial de desenvolvimento. O protocolo de comunicação CANopen foi utilizado para adaptação de um dispositivo físico, especificamente no contexto do desenvolvimento de um novo painel de entrada de cabine para sistemas de elevadores. O artigo também discute a adaptação de um dispositivo físico para a comunicação CANopen, mostrando a flexibilidade e aplicabilidade do

protocolo em arquiteturas de sistemas industriais. Por fim, este protocolo de comunicação é empregue em testes de conformidade de dispositivos disponíveis no mercado, isto envolve testar e integrar componentes existentes em ambientes simulados para provar a sua conformidade e compatibilidade sem ter o sistema completo pronto.

Na referência [15], o protocolo de comunicação DeviceNet é utilizado para estabelecer uma interface entre a fonte de alimentação utilizada em operações de soldagem e um braço robótico. Essa implementação teve como principal objetivo automatizar o processo de soldagem, permitindo o controle dos parâmetros críticos, tais como temperatura, voltagem e corrente, por meio da comunicação entre os dispositivos. Ao empregar o protocolo DeviceNet, foi possível eliminar a interferência humana e melhorar significativamente a eficiência das operações de soldagem. Além disso, o uso do DeviceNet proporciona uma solução de rede orientada a objetos para automação, resultando na redução da necessidade de cabeamento e dos custos correspondentes para dispositivos industriais. Esta abordagem contribui para a formação de um sistema controlado, promovendo uma maior integração e eficiência no ambiente de produção industrial.

O protocolo de comunicação HART segundo [16], contribuiu significativamente para o monitoramento do pH, permitindo recursos avançados de comunicação de dados e controle dos transdutores do pH, fazendo com que o sensor de pH comunique os valores medidos e outras informações relevantes para um sistema de controle. O protocolo HART adiciona uma camada de comunicação digital, isto significa que dados adicionais podem ser transmitidos juntamente com o sinal analógico sem interferência. A utilização deste protocolo facilita a configuração e verificação diagnóstica do transdutor de pH, o que é importante para garantir que o sensor esteja a funcionar corretamente e esteja devidamente calibrado para medições precisas do pH. O adaptador usado com o sensor de pH executa funções complexas, como conversão analógico-digital, cálculos numéricos e geração de sinais analógicos de saída, o protocolo suporta estas funções permitindo a transferência de informações internas necessárias para estes processos. A capacidade do protocolo HART de comunicar dados detalhados do sensor e sinais de controle foi crucial para a implementação deste sistema.

A referência [17], fala no protocolo de comunicação OPC que permite interoperabilidade e troca de dados em vários níveis presentes na automação industrial, como sensores, atuadores e servidores. OPC é um padrão que é amplamente reconhecido que unifica os níveis de comunicação, tornando este protocolo muito importante na Indústria 4.0. Ele fornece uma estrutura para a representação, troca de dados e informações destinadas a objetos. Permite a comunicação em tempo real, tornando a comunicação máquina a máquina mais fácil, o que se torna importante para aplicações com requisitos críticos de segurança. A importância do OPC é ainda enfatizada pelo seu papel na modernização da educação, onde está integrado no desenvolvimento de uma plataforma moderna de conhecimento e experimental para o ensino de mecatrónica.

O artigo [18], fala no uso do protocolo EtherCAT no contexto da criação de um sistema redundante e econômico com sincronização *hot-standby*. O protocolo EtherCAT é usado para

comunicação entre as unidades de controlo redundantes (UCRs) e as estações de entrada/saída remota (ESR). Ressalta-se que o EtherCAT é escolhido pela sua velocidade e suporte nativo ao *hardware* utilizado no sistema. O artigo enfatiza o uso do EtherCAT para sincronização e comunicação entre as UCRs e as estações ESR, sublinhando o seu papel na deteção de falhas. Neste projeto uma estação ESR atua como *master* com as unidades UCR operando como *slaves*. A *master* inicia as tarefas de comunicação e decide de qual UCR recupera os dados para atualizar as suas saídas. O artigo também discute a implementação do EtherCAT como um protocolo para comunicação entre as UCRs e as estações ESR, mostrando a sua importância na obtenção de um sistema mais econômico principalmente ao nível de deteção de falhas, comutação automática e sincronização.

A importância do protocolo de comunicação *AS-Interface* ou AS-i no artigo [19], está na sua integração com a técnica *hardware in the Loop* (HIL). A rede AS-i é utilizada para conectar o processo simulado com um Controlador Lógico Programável (PLC) e um sistema de supervisão, permitindo a comunicação descentralizada de entradas e saídas analógicas entre o *master* (PLC) e o *slave*. Esta integração permite o controlo e virtualização dos processos, proporcionando um ambiente virtual interativo e imersivo entre o usuário e o processo industrial. A rede AS-i é essencial para a implementação de estratégias de controlo e otimização, com o controlo de variáveis relativas ao processo desempenhado. O artigo apresenta um processo de granulação de nitrato de amônio utilizando a técnica HIL e a implementação de uma rede industrial AS-Interface. A rede AS-i é integrada à técnica HIL, permitindo a comunicação descentralizada de entradas e saídas analógicas entre a *master* e *slave*. Esta integração permite o controlo e virtualização do processo de granulação.

No artigo [20], é abordado como o protocolo Ethernet/IP permite a implementação de um conjunto totalmente consistente de serviços e objetos de dados em uma rede Ethernet baseada em *Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol/Internet Protocol* (TCP/UDP/IP). Ele enfatiza a importância da Ethernet/IP no fornecimento de serviços de controlo, configuração e coleta de dados, bem como sua coexistência com outros protocolos executados sobre as camadas de transporte padrão TCP/UDP. Além disso, o artigo aborda as melhorias na tecnologia Ethernet que melhoraram o determinismo, a repetibilidade e o desempenho, tornando prático e seguro o uso de Ethernet/IP ao nível do controlo. Além disso, enfatiza a importância da Ethernet/IP para alavancar o conhecimento sobre Ethernet nas empresas e maximizar o retorno dos investimentos em infraestruturas Ethernet. O artigo também discute a aplicação de Ethernet/TCP/IP na automação industrial, destacando o seu uso para manutenção de programas, troca de dados com sistemas MIS (*Manufacturing Information System*) e MES (*Manufacturing Execution System*), controlo de supervisão e interfaces de operações. No geral, o documento destaca a importância da Ethernet/IP na viabilização de arquiteturas de automação eficientes e flexíveis, particularmente no contexto de controlo industrial onde a troca de dados é um fator crucial.

Na referência [21], o protocolo de comunicação PROFIBUS é um padrão nos barramentos de comunicação de campo, utilizado para automação de processos. PROFIBUS é um protocolo de comunicação internacional, de código aberto e independente de fornecedor, amplamente

utilizado em vários setores, incluindo manufatura, produção e automação. No contexto do artigo, o PROFIBUS é utilizado para a comunicação entre um PLC Siemens e um inversor de frequência variável da Eaton monitorado por uma *Human Machine Interface*. O artigo detalha a implementação desta comunicação, enfatizando a importância do PROFIBUS em permitir a troca de dados entre dispositivos de diferentes fabricantes para atender às especificações do processo industrial. Adicionalmente, o artigo discute as configurações de *hardware* e *software*, o uso do PROFIBUS para troca de dados em tempo real e a integração do PROFIBUS com outros protocolos de comunicação como Ethernet/IP. No geral, o artigo demonstra o papel crucial do PROFIBUS na facilitação da comunicação eficiente e confiável para sistemas de automação industrial.

A importância do Profinet no artigo [22], reside no seu papel como protocolo de comunicação em tempo real para troca de dados entre dispositivos presentes na automação industrial. O artigo discute a importância da troca rápida e em tempo real de dados no contexto do Sistema de Produção Física Cibernética e da IoT. O protocolo Profinet destaca-se por ser capaz de atingir tempos de reação entre 1 ms a 10 ms em tempo real e tempo real isócrono, com altas velocidades inferiores a 1 ms. O desempenho deste protocolo foi testado em PLCs tradicionais (*hard PLCs*) e *soft PLCs*. Os resultados indicam que os dispositivos que utilizam *soft PLC* como controlador, são 19 vezes mais rápidos dos que usam o *hard PLC*.

## 2.4 Sensores

A Instrumentação Industrial e Automação Industrial desempenham um papel crucial na otimização de processos, melhoria da eficiência e garantia da segurança em ambientes industriais. Dentro destes sistemas, podemos encontrar os sensores, que são dispositivos fundamentais para converterem grandezas físicas em sinais elétricos, permitindo que haja monitorização e controlos mais precisos nos processos industriais. A importância dos sensores na Instrumentação Industrial é indiscutível, pois são eles que têm a capacidade de medir variáveis como temperatura, pressão, nível, caudal e outras grandezas críticas em tempo real. Essas informações são essenciais para garantir a qualidade do produto, otimizar a produção e evitar falhas operacionais.

Tabela 3 - Estudo Relativo aos Sensores Industriais.

Referência	Foco	Principais Objetivos	Metodologia	Limitações
[23]	Desenvolvimento de um <i>Neuro Controller</i> e Instrumentação Industrial Inteligente	Observar e controlar a temperatura, pressão, humidade, fluxo e outros parâmetros em um ambiente industrial	Utiliza algoritmos avançados para analisar dados e tomar decisões, otimizando e controlando os processos de forma eficiente	Cenários de aplicação demasiado específicos, há indústrias onde o <i>Neuro Controller</i> proposto pode não ser tão eficaz
[24]	Desenvolvimento, aplicação e limitações de sensores existentes	Rever os avanços recentes em sensores SHM de alta temperatura	Estudo fenomenológico de sensores eletromagnéticos para SHM de alta temperatura	O foco em sensores de alta temperatura pode limitar a aplicabilidade geral
[25]	Sistema de gerenciamento de água com base IoT para uso industrial	Medição e gestão dos parâmetros da água em tempo real	Utilização de um sensor de nível capacitivo, microcontrolador e módulo Wi-Fi	Sensibilidade a mudanças de temperatura e distúrbios hídricos
[26]	Monitoramento da fração volumétrica de água em escoamentos bifásicos óleo-água, utilizando tomografia de capacitância elétrica	Avaliar o desempenho do método proposto para estimativa de fração volumétrica em regimes de fluxo disperso e contínuo em água	Estimar a fração de volume, conduzindo experimentos em <i>loop</i> de fluxos com diferentes tipos de sensores capacitivos	Conhecimento das propriedades constitutivas da fase contínua para melhores resultados e ambiguidade na classificação do regime de fluxo
[27]	Conversor digital de fluxo de massa baseado em <i>Coriolis</i> de micro eletromecânica (MEMS) para líquidos e gases	Digitalizar as informações do fluxo de massa	Implementação do circuito da interface CMOS e a realização de medições para avaliar o desempenho do sensor	Necessidade de ajuste na sensibilidade para garantir que haja uma sensibilidade constante em uma ampla faixa de densidades de fluidos

[28]	Desenvolvimento de um sensor de pressão de tecido multicamadas para imagens de distribuição de pressão em tempo real	Melhorar a sensibilidade do sensor de tecido e desenvolver um sistema de imagem	Fabrico do sensor multicamadas, avaliar o seu desempenho e conduzir experimentos de distribuição de pressão em tempo real	Sensibilidade na região central do sensor e necessidade de métodos de calibração mais eficazes
------	--	---	---	--

O artigo [23], discute o uso de sensores em ambientes industriais inteligentes para análise e controlo de determinados parâmetros. O *Neuro Controller* está equipado com sensores avançados para monitorizar e controlar a temperatura, pressão, humidade e fluxo, utilizando algoritmos avançados para analisar dados e tomar decisões. Os sensores específicos mencionados no artigo incluem sensores de vibração para observar padrões de vibração nas máquinas, sensores de temperatura para medir a temperatura do equipamento e identificar variações estranhas e sensores de pressão para detetar flutuações de pressão nas bombas, válvulas e outras áreas no sistema, de modo a analisar as condições e garantir a segurança dos trabalhadores, reduzir o tempo de inatividade, melhorar a produtividade e otimizar o desempenho da máquina.

Este artigo também discute os desafios associados a estas tecnologias, como por exemplo, o de garantir a precisão dos dados coletados, é necessário uma manutenção e calibração regulares dos instrumentos utilizados, também é necessário integrar diferentes fontes de dados, o que pode ser uma tarefa desafiadora, pois os dados de diferentes instrumentos podem precisar ser combinados ou analisados de maneiras distintas e é necessário conhecimento e experiência na implementação destas tecnologias, ou seja, os trabalhadores envolvidos devem ser experientes e familiarizados com os instrumentos específicos utilizados.

A referência [24], discute o desenvolvimento, aplicação, limitações e avanços recentes dos sensores usados para analisar a integridade estrutural nos ambientes de alta temperatura. São abordados vários tipos de sensores, como sensores eletromagnéticos, sensores *Fiber Bragg Grating* (FBG) e sensores de correntes *Foucault*, e suas aplicações na medição de parâmetros físicos como vibração, velocidade, aceleração e deslocamento. Os sensores de FBG têm alta sensibilidade à deformação e temperatura, são imunes a interferências eletromagnéticas e conseguem analisar vários pontos usando um único sistema de aquisição de dados, porém possuem um custo mais elevado em comparação com outras tecnologias. Os sensores baseados em MEMS são menores e têm baixo consumo de energia, podem medir vários parâmetros, como aceleração, pressão e temperatura, mas são suscetíveis a fatores ambientais, como por exemplo, a humidade. Os sensores *Lead Zirconate Titanate* possuem alta sensibilidade à tensão mecânica e vibração com uma ampla resposta de frequência, mas também possuem faixa de temperatura limitada e são suscetíveis ao ruído elétrico. Por fim temos os sensores de correntes *Foucault*, que não requerem contato para fazer a medição e têm alta sensibilidade, porém

possuem uma profundidade de penetração limitada e são suscetíveis a variações de condutividade do material.

Em [25], podemos ver um sistema que faz uma gestão da água utilizando a tecnologia IoT, onde são usados vários sensores para medir os parâmetros da água em contexto industrial (ver figura 4). O sistema incorpora sensores para medir o nível, caudal e temperatura da água e permite analisar e controlar em tempo real através da tecnologia IoT. Ao usar um sensor de nível capacitivo, temos algumas vantagens em relação aos sensores convencionais, conseguimos obter uma maior precisão e menor dependência da constante dielétrica da água, porém temos algumas limitações relativas às mudanças bruscas da temperatura na água e ficamos dependentes de uma boa conexão de internet para exibição de dados em smartphones. Um dos estudos futuros que podem ser possíveis aplicar neste sistema, é a possibilidade de medir parâmetros hídricos adicionais e implementar análise de dados com o auxílio de algoritmos e através de inteligência artificial, de maneira a otimizar a conservação da água e consequentemente a redução nos custos.

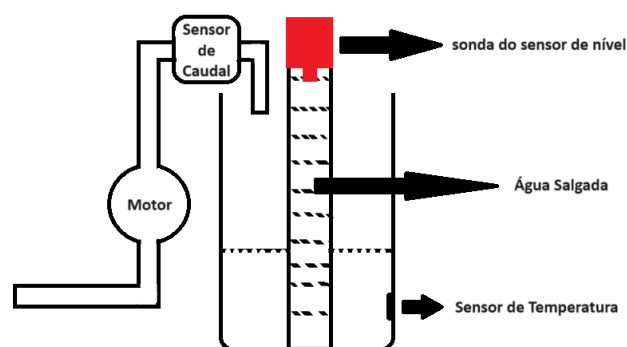


Figura 4 - Exemplo de um sistema de gerenciamento de água.

Nesta referência [26], conseguimos analisar o uso de um sensor de capacitância de placa paralela e um sensor ECT convencional (ver figura 5). Estes sensores são usados para estimar a fração volumétrica nos fluxos bifásicos da água com diferentes níveis de salinidade. O artigo discute os desafios na determinação da fração volumétrica em escoamentos multifásicos e a adequação de diversas modalidades de sensores para este fim. Foca-se especificamente no uso de sensores de tomografia com capacitância elétrica, que é uma alternativa de baixo custo para monitoramento de fluxos multifásicos, especialmente em ambientes industriais mais caóticos. Os sensores utilizados neste estudo demonstraram ser ótimos para a análise dos parâmetros em tempo real mesmo tratando-se de fluxos multifásicos dinâmicos e imprevisíveis. A escolha dos sensores é baseada no seu baixo custo e potencial para estimativa precisa de fração de volume em ambientes industriais.

Este artigo também discute os desafios e limitações associados ao uso desses sensores, como o impacto da alta condutividade e permissividade da água na determinação da fração volumétrica. O estudo avalia o desempenho do método proposto em regimes de fluxo disperso

da água e contínuo, empregando diferentes tipos de sensores capacitivos em arranjos cilíndricos e arranjos retangulares de placas paralelas.

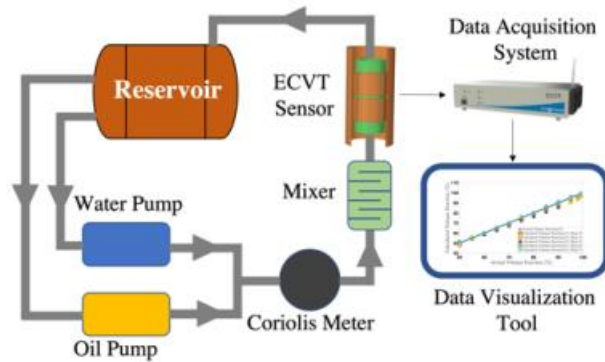


Figura 5 - Diagrama do circuito de fluxo [26].

Na próxima referência [27], é analisado as vantagens de usar caudalímetros baseados em MEMS *Coriolis* em relação a outros sensores, como sensores de fluxo térmico. Algumas das vantagens incluem a medição direta do caudal, ou seja, é possível medir diretamente o caudal e a força *Coriolis* produzida por uma massa que flui dentro de um canal vibratório. Isto permite a medição precisa de líquidos e gases, independente das propriedades do fluido, é possível estimar a densidade do fluido a partir da frequência de ressonância do canal vibratório, permitindo uma gama mais ampla de informações obtidas pelo sensor. Os sensores MEMS *Coriolis* podem ser muito mais sensíveis que os sensores de fluxo *Coriolis* convencionais, tornando-os adequados para aplicações onde o caudal tem um fluxo menor, ao contrário dos sensores de fluxo térmico, que podem saturar em caudais mais elevados. Essas vantagens tornam os sensores de fluxo de massa baseados em MEMS *Coriolis* uma alternativa confiável a outros sensores de fluxo em aplicações de baixo fluxo.

Por fim na referência [28], temos um sensor de distribuição de pressão num tecido multicamadas (ver figura 6), composto por tecidos elásticos condutores e uma nanoteia de poliuretano em camadas, contendo conchas de ar. O sensor é projetado para detetar alterações de resistência e capacitância sujeita a uma distribuição de pressão aplicada verticalmente na superfície superior do sensor. Com a experiência, podemos aprender sobre o desenvolvimento de um novo sensor de distribuição de pressão e um sistema de imagem que fornece uma nova maneira de visualizar quantitativamente as distribuições de pressão em tempo real. O estudo visa melhorar a sensibilidade à pressão do sensor e superar as desvantagens dos sensores de distribuição de pressão atualmente disponíveis, como o tamanho fixo, formato e sensibilidade limitada à carga de pressão aplicada. O sensor e o sistema de imagem desenvolvidos têm aplicações potenciais em vários campos, incluindo na automação industrial, permitindo imagens precisas e em tempo real da distribuição de pressão, o que é crucial para aplicações como garras robóticas, trabalhos que usem a técnica homem-robô e segurança industrial.

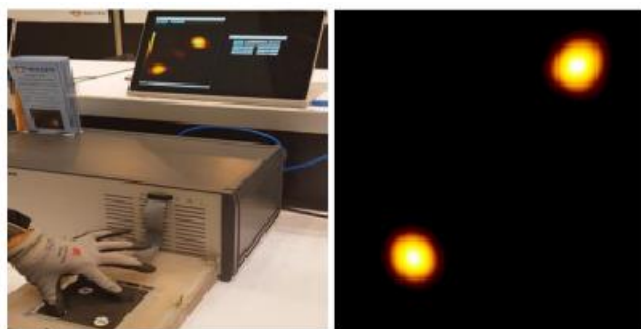


Figura 6 - Imagem do sensor de distribuição de pressão em funcionamento [28].

## 2.5 Cibersegurança

No ramo da instrumentação/automação industrial, a importância da cibersegurança é crucial para indústrias que adotam cada vez mais, sistemas interligados e tecnologias inteligentes para aumentar a eficiência e a produtividade, contudo, as implementações destes sistemas tornam as empresas mais suscetíveis a ameaças cibernéticas. A integração de tecnologias avançadas, como a IIoT e a computação através de uma nuvem, traz consigo uma riqueza de oportunidades, mas expõe simultaneamente os sistemas industriais a potenciais vulnerabilidades [29].

A consequência de um ataque cibernético na automação industrial pode ser bastante grave, desde uma interrupção operacional, comprometimento da segurança e perdas financeiras. Podem explorar vulnerabilidades em dispositivos interconectados para obter acesso não autorizado, manipular processos ou até mesmo lançar ataques que podem ter consequências de longo alcance tanto para a organização quanto para a comunidade em geral.

A proteção de dados sensíveis, a propriedade intelectual e a operação contínua de infraestruturas críticas são fundamentais em ambientes industriais. As medidas de segurança cibernética devem ser robustas, adaptáveis e alinhadas com os padrões da indústria para impedir eficazmente as ameaças em evolução. Isto envolve a implementação de arquiteturas de rede seguras, a atualização regular e a correção de software, a realização de avaliações de risco completas e a promoção de uma cultura consciente da segurança cibernética dentro da organização [30].

A colaboração entre as partes interessadas da indústria, órgãos governamentais e especialistas em segurança cibernética é essencial para se manter à frente das ameaças emergentes e desenvolver estratégias proativas.

À medida que a automação industrial continua a evoluir, o investimento na segurança cibernética torna-se parte integrante da salvaguarda dos sistemas interligados que sustentam os processos de fabrico modernos. Em última análise, uma abordagem abrangente à cibersegurança não é apenas uma medida de precaução, mas sim uma necessidade fundamental para a resiliência e a sustentabilidade das operações industriais na era digital.

Tabela 4 - Estudo Relativo à Cibersegurança.

<b>Referência</b>	<b>Foco</b>	<b>Principais Objetivos</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Limitações</b>
[31]	Cibersegurança em Sistemas de Controlo e Automação Industrial (SCAI)	Revisão dos padrões de segurança cibernética, ameaças e medidas de mitigação no SCAI	Análise de ameaças de segurança existentes e medidas de mitigação de segurança cibernética no SCAI	Análise aprofundada limitada dos estudos de casos específicos que envolvem ataques cibernéticos
[32]	Segurança cibernética em sistemas IIoT	Análise de ameaças, propor contramedidas e identificar direções futuras	Revisão da literatura, análise de soluções existentes e identificação de lacunas na pesquisa	Exploração limitada das tecnologias edge, fog e blockchain
[33]	Estrutura de avaliação de cibersegurança para automação de sistemas de energia	Estudar e analisar as relações complexas entre sistemas de controlo cibernéticos e sistemas de energia	Proposta de uma estrutura VOTNet, testes práticos, avaliação de risco e análise de consciência situacional	Falta de uma rede de Tecnologia Operacional (TO) real para avaliação de vulnerabilidade cibernética
[34]	Proteção de sistemas de controlo industrial contra ameaças cibernéticas	Desenvolvimento de um método de proteção para Modbus/TCP	Definir um modelo de sistema e um método de proteção baseado no modelo Purdue e no padrão IEC 62443	Não criptografa o protocolo Modbus/TCP e a disponibilidade do sistema de comunicação SCAI pode ser afetada
[35]	Integração de sistemas de TI e TO para segurança cibernética em usinas de biomassa	Proteger redes SCAI contra ameaças cibernéticas, usando diretrizes como IEC 62443, NIST 800-82r2, ISA-95 e o modelo Purdue	Criação de dois modelos de segurança cibernética e testes práticos em três usinas de biomassa na Tailândia	Potencial duplo investimento em sistemas de deteção e proteção devido à tolerância a falhas do modelo Spectrum Security SL4

[36]	Necessidades e conceitos de segurança em ambientes industriais	Uso de sensores IoT em ambientes industriais e discutir possíveis novas superfícies de ataque abertas por aplicações baseadas em IoT	Pontos de vista de segurança tradicionais, desafios de segurança nos sensores IoT e medidas de segurança para dispositivos IoT.	Medidas para sensores IoT em ambientes industriais, sem se aprofundar em outros aspectos da IoT ou sistemas de automação
------	--	--	---	--

O artigo [31], discute a importância da cibersegurança em Sistemas de Controle e Automação Industrial (SCAI) devido ao aumento de ataques cibernéticos nestes sistemas. A integração de tecnologias inteligentes, como IIoT, Máquina a Máquina, Gêmeo Digital, computação em nuvem e Inteligência Artificial, introduziu novas vulnerabilidades que podem ser exploradas. Os SCAI são utilizados em infraestruturas críticas e amplamente utilizados em vários setores, o que os torna um alvo significativo para ciberataques.

Os ataques cibernéticos aos SCAI podem representar uma ameaça para os seres humanos e para o ambiente, perturbar os serviços sociais, causar perdas financeiras e ameaçar a segurança. Para enfrentar essas ameaças, existem padrões e estruturas de segurança cibernética para os SCAI, como ISA/IEC 62443, NIST SP 800-82, padrões NERC CIP, práticas recomendadas pela CISA e MITRE ATT&CK para sistemas de controle industrial. Esses padrões e estruturas fornecem diretrizes, abordagens e práticas recomendadas para proteger sistemas e redes contra os ataques cibernéticos.

A referência [32], enfatiza a importância da cibersegurança no contexto dos sistemas que usam IIoT, devido à evolução das ameaças e vulnerabilidades nos sistemas industriais. É abordado várias ameaças e vulnerabilidades, incluindo ataques distribuídos no serviço (DDoS), ataques de *phishing*, ataques *side channel*, ataques *man-in-the-middle*, ataques de *ransomware*, ciberespionagem, ataques a aplicativos na *web* e ataques à *supply chain*. É destacada a importância de atualizar sistemas industriais que usem dispositivos IIoT com alguma cautela, pois isso pode introduzir mais pontos fracos ou vulnerabilidades no sistema, como injeção de *malware*, sequestro de dispositivos, roubo de dados e identidade, engenharia reversa, envenenamento do Sistema de Nomes de Domínio (DNS) e IoT.

O uso da cibersegurança é essencial para enfrentar essas ameaças e potenciais vulnerabilidades em aplicações industriais que usem tecnologias com IoT. Em termos de contramedidas, o artigo discute várias abordagens, incluindo sistemas de detecção de invasões, técnicas de *machine learning*, proteção das redes SCADA e outras soluções de segurança, como soluções baseadas em criptografia e *blockchain*. Identifica também desafios de investigação abertos em cibersegurança da IIoT, tais como escalabilidade, aplicações industriais descentralizadas, segurança e privacidade, cenário de ameaças, normalização, análise forense e a falta de mão de obra qualificada para a gestão e manutenção da IIoT.

O artigo [33], fala sobre cibersegurança na automação de sistemas de energia (ASE) e apresenta uma Rede Virtual de Tecnologia Operacional (VOTNet) para avaliação de segurança cibernética (ver figura 7). A rede TO nos sistemas ASE são suscetíveis às ameaças cibernéticas, é necessário experiência e práticas realistas para compreender e enfrentar os desafios relativos à cibersegurança. O VOTNet foi projetado para simular e avaliar vários impactos ciberfísicos e cenários de ataque, como acesso não autorizado, negação de serviço, varredura no protocolo Modbus, manipulação de dados e *session hijacking*.

O VOTNet é descrito como um grande e complexo ambiente de experimentação de segurança cibernética que consiste em sistemas simulados, incluindo controladores lógicos programáveis (PLCs), dispositivos de rede, sistemas de computação, software e ferramentas. A estrutura foi projetada para refletir as funcionalidades dos sistemas de energia, manter a diversidade de hardware e resolver problemas de escalabilidade. O artigo fornece uma visão geral detalhada da estrutura proposta e da instância específica da VOTNet, juntamente com suas contribuições, avaliações experimentais e aplicações de pesquisa.

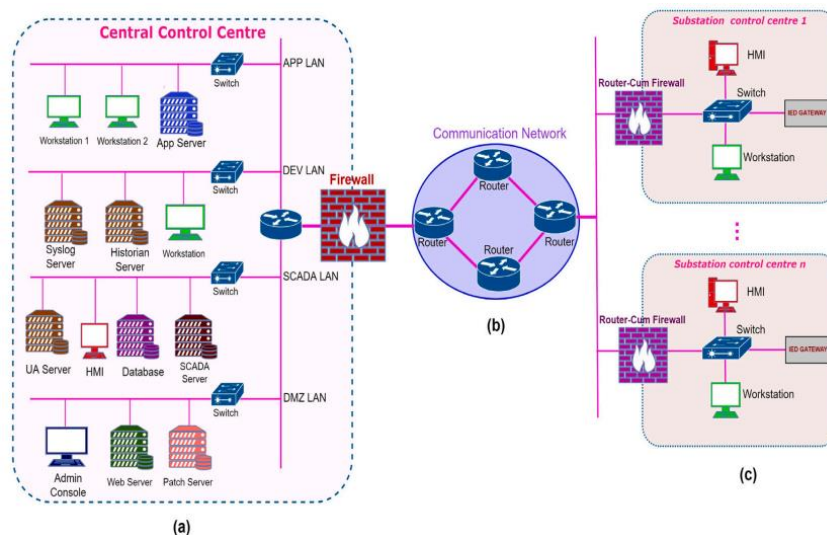


Figura 7 - Sistema VOTNet proposto [33].

O artigo usa a fórmula padrão para derivar o risco de um ataque, que é dada por  $Risco = ((Valor\ do\ ativo \times Prioridade\ do\ evento \times Confiabilidade\ do\ evento) / 25)$ .

A avaliação de risco dos ataques demonstrados é realizada com a explicação de possíveis técnicas de mitigação. O documento também discute a necessidade de consciência situacional e coordenação sob ataques cibernéticos para restaurar o sistema SCADA dentro de um curto período. A VOTNet é avaliada considerando diferentes cenários de ataque e escalabilidade, e também são discutidos os problemas associados à rede TO.

Na referência [34], A proteção dos SCAs baseados em Modbus/TCP podem ser melhorados com a implementação de um método de autenticação baseado em códigos (MACs). Este método fornece proteção parcial da comunicação, mesmo quando se comunica através do protocolo de comunicação Modbus/TCP, e envolve um novo dispositivo de supervisão que analisa as

mensagens trocadas e verifica a autenticidade das mensagens protegidas. O MAC subjacente usado é o Chaskey-12, um MAC leve definido na IEC 29192-6.

O método foi verificado experimentalmente e demonstrou fornecer proteção contra ataques à rede sem afetar significativamente o desempenho, demonstrando a viabilidade para a proteção nos SCAI. A Organização Modbus também desenvolveu um novo protocolo de comunicação industrial chamado Modbus Security, que é um Modbus/TCP baseado em *Transport Layer Security* (TLS) que fornece integridade, autenticação e criptografia de dados. No entanto, não é compatível com Modbus/TCP e ainda não foi implementado em um SCAI da vida real.

Outras soluções potenciais, como sistemas de detecção de intrusão e métodos de autenticação de canais secretos, foram analisadas, mas apresentam suas próprias limitações e desafios. Em resumo, a proteção do Modbus/TCP pode ser alcançada através da implementação de métodos de autenticação baseados em códigos de autenticação de mensagens (MACs) e do uso de novos dispositivos de supervisão para verificar a autenticidade das mensagens protegidas. Além disso, o desenvolvimento de novos protocolos de comunicação industrial, como o Modbus Security, oferece mais opções para melhorar a segurança cibernética dos SCAI baseados que usem o protocolo de comunicação Modbus.

Na referência [35], é implementado um modelo de cibersegurança denominado de "*Spectrum Security*" para resolver problemas de cibersegurança nas usinas de biomassa. Este modelo integra vários padrões da indústria, como NIST 800.82r2, IEC 62443 e o modelo Purdue (ver figura 9) para criar uma solução abrangente de segurança cibernética para sistemas de Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia de Operações (TO) (ver figura 8).

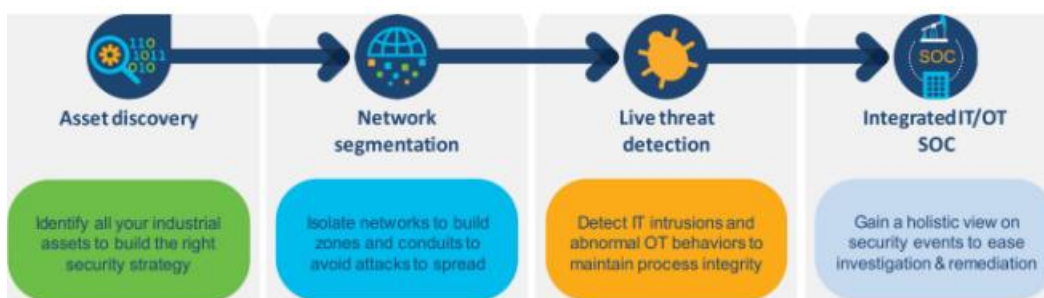


Figura 8 - As quatro etapas para proteger a rede de TI/TO [35].

O modelo "*Spectrum Security*" implanta o modelo de referência Purdue e ISA-95 para segmentação de rede ICS, define seis camadas dentro de redes de TI e TO e fornece o controle lógico de limites de rede para proteger uma *network*. Inclui também o uso de *firewalls*, níveis de segurança e monitoramento de acesso remoto para garantir a proteção das redes SCAI nas usinas de biomassa. Os resultados da implementação deste modelo incluem detecção e proteção mínima dos SCAI (*Spectrum Security* - SL2) e a detecção e proteção máxima para com operações de tolerância a falhas (*Spectrum Security* - SL4).

O modelo proposto de "*Spectrum Security*", visa fornecer uma visão holística das ameaças cibernéticas que incidem mais nas TI e SCAI, proteger os dados contra os ataques cibernéticos,

permitir o controlo remoto seguro e garantir um controlo confiável em sistemas SACI. O modelo também aborda os requisitos operacionais exclusivos existentes nas usinas, como a necessidade de acesso remoto, encerramento automático da supervisão e diagnóstico on-line, ao mesmo tempo em que considera o impacto da pandemia na disponibilidade da força de trabalho e na segurança operacional.

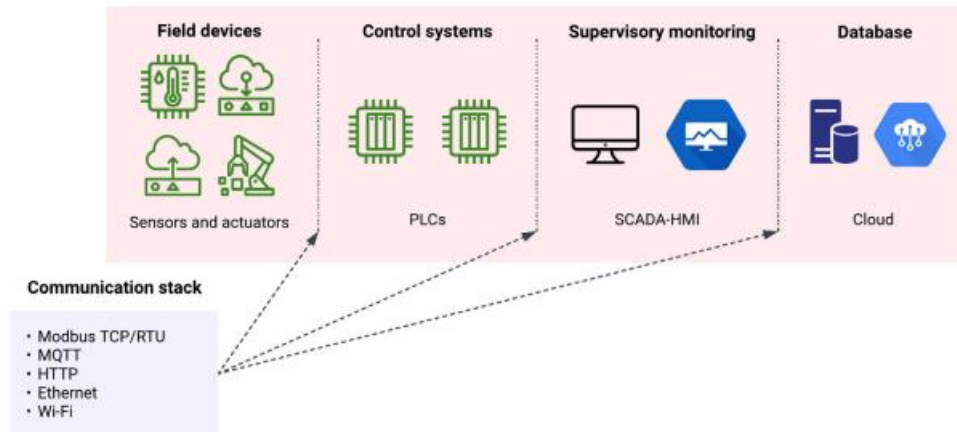


Figura 9 - Exemplo de arquitetura IIoT baseada no modelo Purdue [32].

Na referência [36], é proposto um conjunto de medidas para proteger os dispositivos IoT contra ciberataques, estas medidas de segurança precisam ser implementadas aos níveis de *hardware*, *empresa/software* e *conexão de rede*. Algumas das principais medidas incluem projetar o *hardware* do dispositivo de forma segura para reduzir possíveis manipulações. Módulos de segurança, como *Trusted Platform Modules*, que oferecem uma base segura para armazenar credenciais e *tokens* de API, fornecem funções criptográficas avançadas e formam a base para medidas de segurança adicionais.

Implementar processos de assinatura de código e inicialização segura, estes processos podem impedir a instalação de programas indesejados na rede da empresa ou *software* não autorizado, sendo especialmente importante para dispositivos aos quais o invasor tem acesso direto. Também é necessário aplicar princípios simples, como desativar todas as portas, protocolos ou serviços não utilizados, verificar adequadamente as mensagens além do mero controlo de acesso e verificar *bits* e valores de comprimento não utilizados ou reservados. Implementação da autenticação e autorização granulares, acesso baseado em funções e infraestruturas de chave pública para autenticação da rede e controlo do acesso. Podemos usar técnicas como *Local Area Networks* (LANs) virtuais, redes separadas ou conexão via DMZ (*demilitarized zone*) para estabelecer um perímetro de acesso. Isso inclui autenticação adequada de dispositivos usando endereços MAC ou protocolos protegidos criptograficamente, inspeção profunda de pacotes e IDS para monitorizar o tráfego e identificar nós maliciosos ou desconhecidos.

E, por último, garantir a criptografia adequada e proteção de integridade para transferência de dados, bem como evitar a transferência de conhecimento vital de produção para concorrentes.

## 2.6 Conclusões

A escolha cuidadosa de sensores é essencial para obter dados precisos que levam a decisões inteligentes num ambiente em que a automação e a instrumentação industrial se destacam como impulsionadores na inovação. A qualidade e a confiabilidade das informações obtidas são impactadas diretamente pela variedade de sensores disponíveis, incluindo aqueles que monitoram temperatura, pressão, nível, caudal e aqueles que coletam dados de processos mais complexos.

Além disso, a seleção de protocolos de comunicação eficazes é essencial para uma integração fluida dos dispositivos e sistemas. Contribuindo para a uniformidade dos processos industriais, a padronização dos protocolos facilita a interoperabilidade entre os componentes. Além de aumentar a eficiência operacional, permite que os sistemas sejam expandidos e adaptados às necessidades.

No entanto, a conexão de dispositivos e a coleta de dados em larga escala apresentam várias vulnerabilidades significativas, tornando a cibersegurança uma preocupação crítica. É extremamente importante proteger os dados contra ameaças cibernéticas, que podem prejudicar a integridade dos dados e a operação dos sistemas.

Para construir um escudo eficaz contra os potenciais ataques, é necessário usar estratégias proativas, como *firewalls* industriais, atualizações regulares de software e formação dos colaboradores. Portanto, uma indústria moderna e resistente depende da combinação da instrumentação e automação, sensores selecionados com cuidado, protocolos de comunicação eficazes e uma cibersegurança sólida. A única maneira pelas quais as empresas podem garantir a eficiência operacional e a segurança contínua é por meio dessa abordagem holística. Isso prepara-as para os desafios e oportunidades que surgem no mundo industrial.

## 3 Instrumentação Industrial

### 3.1 Sensores

Os sensores são essenciais para a instrumentação industrial, pois convertem variáveis físicas ou químicas em sinais elétricos, permitindo a medição de diferentes parâmetros como temperatura, pressão, nível, fluxo e proximidade, cada um com características e aplicações específicas.

Os sensores termopares baseiam-se no efeito de *Seebeck*, onde uma tensão é gerada quando dois metais diferentes são conectados e expostos a um gradiente de temperatura, onde o ponto mais quente faz com que os elétrons se afastem para o ponto mais frio (dependendo do tipo de metal).

Estes sensores são amplamente utilizados devido à sua robustez, amplo intervalo de medição e à sua resposta rápida. Também possuem uma alta precisão e estabilidade. Os sensores *Resistance Temperature Detector* (RTDs) operam através do princípio da resistência elétrica no condutor metálico, onde há uma alteração no seu valor consoante a temperatura. Oferecem alta precisão, no entanto, são mais caros e menos robustos comparativamente a outros sensores e os seus tempos de resposta são mais lentos.

Os termístores são semicondutores que apresentam uma grande mudança na resistência consoante a temperatura. Existem termístores com *Negative Temperature Coefficient* (NTC), em que a resistência diminui com o aumento da temperatura, e termístores com *Positive Temperature Coefficient* (PTC), cujo comportamento é o oposto ao dos NTC.

Estes sensores são ideais para aplicações onde são necessárias medições precisas num intervalo pequeno de medição, não é um sensor adequado para ambientes com altas temperaturas, possui uma resposta não linear e a sua precisão pode alterar com o tempo. Por fim temos os sensores semicondutores, são utilizados em aplicações em que haja necessidade de precisão e um intervalo de medição grande, também pode operar em altas temperaturas, no entanto, necessitam de uma fonte de alimentação e possuem uma saída não linear.

Na tabela 4, é destacado os pontos mais fortes de cada sensor, tendo em conta o que foi abordado.

Tabela 5 - Características dos Sensores de Temperatura.

	Sensores (Características Gerais)			
	Termopares	RTC	Termístores	Semicondutores
<b>Intervalo de Medição</b>	✓	✓		
<b>Precisão</b>		✓	✓	✓
<b>Sensibilidade</b>			✓	
<b>Estabilidade</b>		✓		✓
<b>Linearidade</b>	✓	✓		
<b>Tempo de Resposta</b>	✓		✓	✓

Os sensores de pressão têm um papel fundamental na medição de gases e líquidos, permitindo monitorar e controlar uma vasta gama de processos como sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC).

Os sensores piezoresistivos funcionam com base na mudança na resistência elétrica de um material semicondutor, (geralmente silício) quando este é submetido a uma pressão. Estes sensores são altamente sensíveis e apresentam uma excelente precisão e linearidade, além de uma resposta rápida, no entanto, são sensíveis a variações de temperatura e, por isso, requerem compensação térmica para manter a precisão das medições.

Os sensores capacitivos medem a pressão através da mudança na capacitância causada pela deflexão de uma membrana quando a pressão é aplicada. Estes sensores oferecem alta precisão e estabilidade a longo prazo, além de apresentarem baixa histerese. Contudo, são mais complexos, caros e podem ser sensíveis a interferências eletromagnéticas, requerem um ambiente controlado para assegurar medições precisas.

Os sensores piezoelétricos utilizam materiais piezoelétricos que geram uma carga elétrica quando sujeitos a uma deformação mecânica, como a pressão. Estes sensores são ideais para medições dinâmicas e de alta frequência devido à sua excelente resposta a variações rápidas de pressão. São robustos e duráveis, o que os torna adequados para ambientes industriais rigorosos, no entanto, não são apropriados para medições estáticas e podem ser sensíveis a choques e vibrações.

Os sensores de *strain gauge* utilizam *strain gauges*, que alteram a sua resistência quando esticados ou comprimidos pela pressão aplicada. Estes sensores são conhecidos pela sua boa

precisão e estabilidade e são capazes de medir pressões muito altas. No entanto, são afetados por variações de temperatura e requerem calibração periódica para manter a precisão das medições.

Os sensores MEMS (*Microelectromechanical Systems*) empregam tecnologias capazes de integrar componentes mecânicos e eletrônicos numa única unidade compacta. Estes sensores são pequenos, leves, de baixo custo e apresentam um consumo de energia baixo, além de uma alta fiabilidade, no entanto, têm limitações na faixa de pressão que podem medir e são geralmente menos robustos em comparação com sensores tradicionais. Para ilustrar melhor todos os sensores anteriormente falados e facilitar a compreensão das suas características, ver tabela 5.

Tabela 6 - Características dos Sensores de Pressão.

	Sensores (Características Gerais)				
	Piezo-resistivos	Capacitivos	Piezo-elétricos	Strain Gauge	MEMS
<b>Intervalo de Medição</b>	✓			✓	
<b>Precisão</b>	✓	✓			
<b>Sensibilidade</b>	✓	✓	✓	✓	
<b>Estabilidade</b>		✓			✓
<b>Linearidade</b>		✓			
<b>Tempo de Resposta</b>	✓		✓		✓

Na instrumentação industrial, os sensores de nível desempenham um papel crucial na medição do nível de líquidos e sólidos em diversos tipos de recipientes, como tanques e reservatórios. Três dos principais tipos de sensores de nível utilizados são os sensores capacitivos, os sensores de radar de ondas guiadas e os sensores de medição de nível hidrostático como podemos ver na tabela 6.

Cada um destes sensores possui características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações. Os sensores capacitivos medem a mudança na capacitância causada pela presença de um material entre as placas do sensor.

Quando um material, como um líquido ou um sólido granular, entra no campo entre essas placas, a capacitância do sistema muda. Os sensores capacitivos são conhecidos pela sua alta sensibilidade e capacidade de detectar uma ampla variedade de materiais. No entanto, podem ser afetados por incrustações ou acúmulo de material nas placas do sensor e requerem calibração para diferentes materiais.

Os sensores de radar de ondas guiadas utilizam ondas de rádio para medir a distância até a superfície do material. Estes sensores emitem um pulso de micro-ondas que viaja ao longo de uma guia de ondas, refletindo-se na superfície do material e retornando ao sensor. O tempo que o pulso leva para retornar é medido e convertido numa leitura de nível.

Os sensores de radar de ondas guiadas são extremamente precisos e fiáveis, mesmo em condições extremas, como ambientes com vapor, poeira ou altas temperaturas. São ideais para aplicações industriais que exigem medições precisas e consistentes, como em tanques de armazenamento de produtos químicos ou petróleo, mo entanto, são geralmente mais caros e podem requerer uma configuração mais complexa.

Os sensores de medição de nível hidrostático operam com base na medição da pressão exercida pela coluna de líquido acima do sensor. Esta pressão é proporcional à altura do líquido e, conseqüentemente, ao seu nível.

Sensores hidrostáticos são submersos no líquido e medem a pressão na base do tanque ou reservatório. Estes sensores são precisos, confiáveis e não são afetados por espuma ou turbulência na superfície do líquido, tornando-os adequados para uma variedade de aplicações, como tanques de água, poços e rios. No entanto, a precisão pode ser influenciada por mudanças na densidade do líquido, e é necessário que os sensores estejam submersos para funcionarem corretamente.

Tabela 7 - Características dos sensores de Nível.

	Sensores (Características Gerais)		
	Capacitivos	Radar de Ondas Guiadas	Hidrostático
<b>Intervalo de Medição</b>		✓	
<b>Precisão</b>	✓	✓	✓
<b>Sensibilidade</b>	✓	✓	
<b>Estabilidade</b>		✓	✓
<b>Linearidade</b>		✓	✓
<b>Tempo de Resposta</b>	✓	✓	

Os sensores de fluxo são dispositivos cruciais para medir a quantidade e a velocidade que um fluido se desloca através de um sistema. Entes sensores são particularmente importantes na indústria química, onde a precisão é crucial para a segurança e a qualidade dos produtos, em sistemas HVAC, no controlo do fluxo de ar e de líquidos refrigerativos.

Os medidores de caudal de turbina funcionam através de uma roda de pás que gira consoante o fluxo do fluido. A velocidade de rotação da turbina é proporcional à taxa de fluxo do fluido, e

esta rotação é convertida num sinal elétrico que pode ser medido e analisado. Estes medidores são conhecidos pela sua precisão e capacidade de medir uma ampla gama de taxas de fluxo, no entanto, são sensíveis a mudanças na viscosidade do fluido e podem sofrer desgaste mecânico ao longo do tempo.

Os medidores de caudal eletromagnéticos operam com base na lei de Faraday através da indução eletromagnética. Quando um fluido condutor passa através de um campo magnético, é gerada uma tensão proporcional à velocidade do fluido. Esta tensão é medida e convertida numa taxa de fluxo. Estes medidores são extremamente precisos e são ideais para medir fluxos de líquidos condutores. Uma das grandes vantagens dos medidores eletromagnéticos é que não têm partes móveis, o que reduz a necessidade de manutenção e aumenta a durabilidade. No entanto, não podem ser usados para medir fluxos de líquidos não condutores.

Os medidores de caudal ultrassônicos utilizam ondas ultrassônicas para medir a velocidade do fluido. Existem dois tipos principais, os medidores de tempo de trânsito e os medidores de efeito *Doppler*.

Os medidores de tempo de trânsito medem o tempo que leva para as ondas ultrassônicas atravessarem o fluido, enquanto os medidores de efeito Doppler medem a mudança na frequência das ondas refletidas pelas partículas no fluido. Estes medidores são versáteis e podem ser usados para medir fluxos de líquidos e gases, tanto condutores como não condutores. Também não há partes móveis em contato com o fluido, reduzindo a manutenção. No entanto, a precisão pode ser afetada por bolhas de ar ou partículas em suspensão no fluido.

Os medidores de caudal por diferencial de pressão medem a diferença de pressão em dois pontos de um fluido em movimento. Esta diferença de pressão é proporcional à taxa de fluxo do fluido. Estes medidores são robustos e podem ser usados para medir fluxos de líquidos, gases e vapores. No entanto, podem ser sensíveis a obstruções e requerem calibração periódica para manter a precisão. Na tabela 7, podemos ter uma noção das qualidades mais notórias de cada sensor.

Tabela 8 - Características dos Sensores de Caudal.

	Sensores (Características Gerais)			
	Turbina	Eletromagnéticos	Ultrassônicos	Diferencial de Pressão
<b>Intervalo de Medição</b>	✓	✓	✓	
<b>Precisão</b>		✓		✓
<b>Sensibilidade</b>	✓	✓	✓	
<b>Estabilidade</b>		✓	✓	
<b>Linearidade</b>		✓		

<b>Tempo de Resposta</b>	✓	✓	✓	
--------------------------	---	---	---	--

Os sensores de proximidade detetam a presença de objetos ou pessoas sem a necessidade de contacto físico. Estes sensores são amplamente utilizados em diversas aplicações industriais, automotivas, de segurança e consumo, proporcionando vantagens significativas em termos de automação, eficiência e segurança.

Na automação industrial, os sensores de proximidade são utilizados em robótica e em linhas de produção para detetar a presença de peças e componentes, permitindo o posicionamento preciso de componentes e garantindo a eficiência e a precisão dos processos de montagem. Os sensores indutivos são amplamente utilizados para detetar objetos metálicos, operam através da geração de um campo magnético de alta frequência que é perturbado pela presença de um objeto metálico, alterando a amplitude da oscilação e permitindo a deteção do objeto.

Estes sensores são conhecidos pela sua robustez, alta precisão e rápida resposta. São ideais para ambientes industriais agressivos, onde a deteção de metais é crucial, como em linhas de produção automotivas e na fabricação de máquinas. Os sensores capacitivos, por outro lado, podem detetar tanto objetos metálicos quanto não metálicos. Eles funcionam medindo a mudança na capacitância causada pela aproximação de um objeto ao sensor.

Estes sensores são muito versáteis e são usados em aplicações que requerem a deteção de materiais variados, como plásticos, líquidos e grãos. A alta sensibilidade dos sensores capacitivos permite a deteção de objetos através de superfícies não metálicas, como vidro ou plástico, tornando-os úteis em aplicações onde a proximidade direta ao sensor não é possível. Os sensores fotoelétricos utilizam luz para detetar a presença de objetos.

Existem vários tipos de sensores fotoelétricos, incluindo sensores de barreira, retro reflexivos e de reflexão difusa. Os sensores de barreira emitem um feixe de luz de um transmissor para um recetor e detetam objetos que interrompem este mesmo feixe. Os sensores retro reflexivos usam um refletor para enviar o feixe de volta ao recetor, detetando objetos que passam entre o sensor e o refletor. Os sensores de reflexão difusa emitem um feixe de luz que é refletido diretamente pelo objeto de volta ao sensor. Estes sensores são ideais para aplicações de longa distância e são amplamente usados em sistemas de transporte e logística para contagem e posicionamento de produtos.

Os sensores ultrassónicos utilizam ondas sonoras de alta frequência para detetar objetos, emitem um pulso ultrassónico e medem o tempo que leva para o pulso ser refletido de volta ao sensor. A distância ao objeto é calculada com base no tempo de voo do pulso. Estes sensores são extremamente versáteis e podem detetar uma ampla gama de materiais, incluindo líquidos, sólidos e poeiras. São particularmente úteis em ambientes onde a luz ou os campos magnéticos podem interferir na operação de outros tipos de sensores, são frequentemente usados em sistemas de controlo de nível, deteção de presença em robótica e automação de edifícios. A Tabela 8 apresenta as características principais dos sensores de proximidade.

Tabela 9 - Características Principais dos Sensores de Proximidade.

	Sensores (Características Gerais)			
	Indutivos	Capacitivos	Fotoelétricos	Ultrassônicos
<b>Intervalo de Medição</b>			✓	✓
<b>Precisão</b>	✓		✓	
<b>Sensibilidade</b>	✓	✓		✓
<b>Estabilidade</b>	✓		✓	
<b>Linearidade</b>			✓	
<b>Tempo de Resposta</b>	✓		✓	

Por fim, os sensores de pH são instrumentos essenciais na instrumentação industrial, usados para medir a acidez ou alcalinidade de uma solução. Estes sensores são cruciais em diversas indústrias, incluindo a química, farmacêutica, alimentar e de tratamento de águas, onde o controle preciso do pH é vital para garantir a qualidade dos produtos e a eficiência dos processos.

Os sensores de pH mais utilizados na instrumentação industrial incluem os eletrodos de vidro, os sensores de pH de junção líquida e os sensores de estado sólido *Ion-Sensitive Field-Effect Transistor* (ISFET), consultar a tabela 9 para mais detalhes. Os eletrodos de vidro são os sensores de pH mais comuns e amplamente utilizados, funcionam com base na diferença de potencial entre um eletrodo de referência e um eletrodo de medição, ambos imersos na solução a ser medida. O eletrodo de vidro é altamente sensível aos íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>), permitindo uma medição precisa do pH. Estes sensores são conhecidos pela sua precisão, estabilidade e ampla faixa de medição, tornando-os ideais para uma variedade de aplicações industriais. No entanto, são frágeis devido à natureza do material de vidro e requerem manutenção regular, incluindo calibração frequente e substituição do eletrodo de referência.

Os sensores de pH de junção líquida são outra variante popular, que utilizam uma solução eletrolítica líquida como meio de referência. A junção líquida permite a comunicação iônica entre a solução de referência e a amostra, proporcionando uma medição estável e precisa. Estes sensores são menos suscetíveis a bloqueios e contaminações, o que os torna adequados para medições em ambientes industriais exigentes, como em processos de tratamento de águas residuais e na indústria química. Contudo, a manutenção periódica é necessária para garantir a precisão a longo prazo.

Os ISFET representam uma tecnologia mais recente e inovadora. ISFET utiliza um transistor de efeito de campo sensível a íons para medir o pH. Estes sensores não utilizam vidro, o que os

torna robustos e resistentes a choques mecânicos. Além disso, oferecem uma resposta rápida e podem ser miniaturizados, permitindo a sua integração em sistemas compactos e portáteis. A precisão e estabilidade dos sensores ISFET são comparáveis às dos elétrodos de vidro, mas são menos suscetíveis a problemas de contaminação e bloqueio da junção. Contudo, os sensores ISFET podem ser mais caros e ainda requerem calibração regular para manter a precisão.

Tabela 10 - Características dos Sensores de pH.

	Sensores (Características Gerais)		
	Elétrodos de Vidro	Junção Líquida	ISFET
<b>Intervalo de Medição</b>	✓	✓	✓
<b>Precisão</b>	✓	✓	✓
<b>Sensibilidade</b>	✓	✓	✓
<b>Estabilidade</b>	✓	✓	✓
<b>Linearidade</b>	✓	✓	✓
<b>Tempo de Resposta</b>			✓

### 3.2 Transmissores

Os transmissores desempenham um papel fundamental na instrumentação industrial, convertendo a saída dos sensores em sinais elétricos padronizados, geralmente na faixa de 4-20 mA ou em sinais digitais. Estes sinais são essenciais para a transmissão precisa e estável de dados sobre variáveis de processo para sistemas de controlo a longas distâncias. A sua importância reside na capacidade de garantir que os dados obtidos pelos sensores sejam transmitidos de forma precisa e confiável, facilitando a integração de informações em sistemas de controlo e monitorização.

Os sinais padronizados de 0-20mA e 4-20 mA são menos suscetíveis a ruídos e interferências, permitindo um controlo mais rigoroso dos processos industriais. Outra vantagem significativa é a compatibilidade dos transmissores com uma ampla variedade de sistemas de controlo. Ao padronizar os sinais de saída dos sensores, os transmissores facilitam a integração de diferentes tipos de sensores dentro do mesmo sistema, independentemente da sua saída original.

Esta compatibilidade é essencial para a coesão e eficiência operacional em ambientes industriais mais agressivos onde podem ser expostos a condições adversas, como temperaturas extremas, humidade, poeira e vibrações. A capacidade dos transmissores de operar de forma contínua e fiável nestas condições minimiza o risco de falhas que poderiam interromper os processos de produção, garantindo assim a continuidade e a eficiência operacional.

Além disso, muitos transmissores modernos incorporam funcionalidades de diagnóstico e comunicação digital, como o protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer Protocol*), que permite monitorar o desempenho do transmissor e diagnosticar problemas remotamente. Esta funcionalidade facilita a manutenção preventiva e reduz o tempo de inatividade, aumentando a eficiência dos processos de manutenção e operação.

A versatilidade dos transmissores é outro ponto de destaque, pois existem modelos especializados para diferentes tipos de sensores e variáveis de processo. Esta versatilidade permite a sua utilização numa ampla gama de aplicações industriais, desde a indústria química e petroquímica até á domótica e o tratamento de águas.

### 3.3 Controladores

Os controladores são componentes cruciais na instrumentação industrial, responsáveis por receber dados dos sensores e transmissores e tomar ações corretivas para manter os processos dentro dos parâmetros desejados. Estes dispositivos ou sistemas garantem a eficiência e a estabilidade dos processos industriais, ajustando continuamente as operações para responder a mudanças nas condições de processo.

Os principais tipos de controladores utilizados na indústria são os PLCs, DCSs (*Distributed Control Systems*) e os controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo).

Os PLCs são computadores industriais robustos, projetados para automatizar processos, desempenham um papel vital no controlo de máquinas, processos industriais e sistemas de iluminação. A principal vantagem dos PLCs é a sua capacidade de programação, permitindo que sejam configurados para uma ampla gama de aplicações. Também são capazes de executar operações lógicas complexas e sequenciais, monitorar entradas de sensores, e controlar saídas de atuadores, como motores e válvulas. A robustez dos PLCs permite que operem em ambientes industriais severos, resistindo a vibrações, temperaturas extremas e interferências eletromagnéticas. Esta fiabilidade torna os PLCs ideais para a automação de processos industriais, onde a precisão e a continuidade operacional são essenciais.

Os DCSs são utilizados em grandes plantas industriais, consistindo em vários controladores distribuídos pelo processo, como demonstra a figura 10. Esta arquitetura distribuída permite uma gestão mais eficiente e centralizada das operações industriais. Em um DCS, cada controlador é responsável por uma parte específica do processo, mas todos os controladores estão interconectados e coordenados através de uma rede central. Isto proporciona uma elevada redundância e fiabilidade, pois a falha de um único controlador não compromete o sistema inteiro.

Os DCSs são frequentemente utilizados em indústrias de processos contínuos, como petroquímica, refinarias, e plantas de energia, onde a coordenação precisa e a gestão centralizada de múltiplos subsistemas são fundamentais para a eficiência e a segurança operacional.

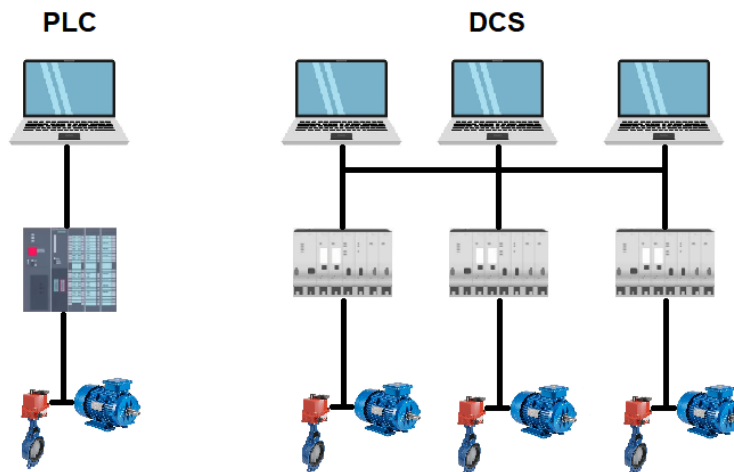


Figura 10 - PLC vs DCS.

Os controladores PID são utilizados para processos de *feedback*, ajustando continuamente as variáveis de processo para manter o sistema num estado desejado. A estratégia de controlo PID combina três ações de controlo: proporcional, integral e derivativa.

O controlo proporcional ajusta a saída do controlador em proporção ao erro de processo atual, que é a diferença entre o valor medido e o valor desejado. O controlo integral considera a soma acumulada do erro ao longo do tempo, corrigindo desvios persistentes que não foram eliminados pelo controlo proporcional. O controlo derivativo responde à taxa de mudança do erro, antecipando futuras variações e ajustando a saída de forma a estabilizar o processo. Esta combinação torna os controladores PID extremamente eficazes em manter variáveis de processo, como temperatura, pressão, e fluxo, dentro dos limites desejados, mesmo em face de perturbações e variabilidades no sistema. Cada tipo de controlador oferece vantagens específicas que podem ser aproveitadas de acordo com as necessidades particulares do processo industrial. Enquanto os PLCs fornecem uma solução versátil e robusta para a automação de processos discretos e sequenciais, os DCSs são ideais para a gestão centralizada e distribuída de processos contínuos de larga escala. Os controladores PID, por sua vez, garantem uma resposta rápida e precisa a variações dinâmicas nas condições de processo, mantendo a estabilidade e a qualidade dos produtos.

### 3.4 Sistemas de Aquisição de Dados

A capacidade de visualizar dados em tempo real ajuda a detetar anomalias e a tomar ações corretivas de forma rápida, melhorando a eficiência operacional e a prevenção de problemas. Os *dataloggers* são dispositivos projetados para registar dados em intervalos definidos, armazenando-os para análise posterior. Estes dispositivos são extremamente versáteis e podem ser utilizados em uma ampla variedade de aplicações industriais. Os *dataloggers* são particularmente úteis para monitorar a longo prazo e para a coleta de dados em locais remotos ou de difícil acesso. A capacidade de armazenar grandes volumes de dados permite uma análise

detalhada do desempenho dos processos ao longo do tempo, auxiliando na identificação de tendências, na manutenção preventiva e na otimização dos sistemas.

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são utilizados para o controle e visualização remota dos processos industriais, integrando dados de vários sensores e dispositivos de controle numa interface de utilizador centralizada. Estes sistemas permitem uma visão abrangente e detalhada das operações, facilitando a tomada de decisões informadas e a gestão eficiente dos processos. Os sistemas SCADA proporcionam monitorização em tempo real e oferece a possibilidade de controlar remotamente, o que é crucial para a gestão de operações complexas e distribuídas. A integração de dados de múltiplos pontos de medição e controle numa interface única melhora significativamente a eficiência e a precisão do monitoramento e do controle dos processos industriais.

### 3.5 Válvulas de Controlo

As válvulas de controlo desempenham a função crucial de regular o fluxo de fluidos em resposta a sinais de controladores. Estas válvulas ajustam-se automaticamente para manter as condições desejadas no processo, garantindo assim a eficiência e a estabilidade operacional. As principais válvulas utilizadas na indústria atual são as válvulas globo, válvulas borboleta e as válvulas esféricas, destacadas na figura 11.

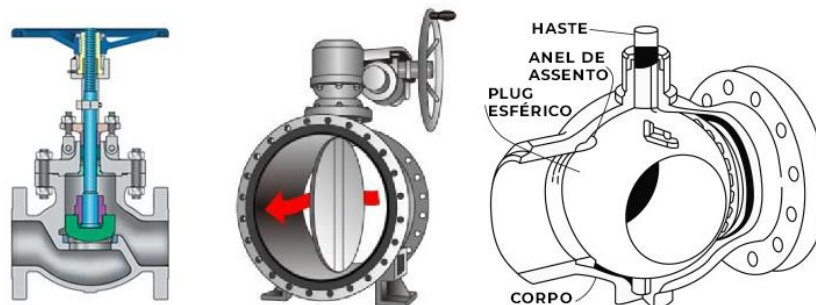


Figura 11 - Válvulas Globo, Borboleta e Esférica.

As válvulas globo são amplamente utilizadas devido à sua capacidade de oferecer um controlo preciso do fluxo. Estas válvulas são particularmente eficazes em aplicações que requerem ajustes finos no caudal, como em processos de dosagem e mistura. A construção das válvulas globo permite uma regulação precisa, pois, o seu design linear proporciona uma relação direta entre a posição do atuador e a taxa de fluxo. As válvulas de borboleta são utilizadas para controlar o fluxo de grandes volumes de líquidos ou gases, oferecendo uma baixa perda de carga. Este tipo de válvula é caracterizado por um disco rotativo que se posiciona perpendicularmente ao fluxo do fluido, regulando a passagem com um movimento de rotação simples. As válvulas de borboleta são conhecidas pela sua eficiência e economia de espaço, sendo frequentemente utilizadas em sistemas onde a resistência ao fluxo deve ser minimizada.

A sua capacidade de manusear grandes volumes com uma resposta rápida as torna ideais para aplicações em sistemas de tratamento de água, ventilação, e em processos onde o controlo de grandes quantidades de fluidos é necessário. As válvulas esféricas oferecem uma vedação eficaz e são utilizadas em aplicações que requerem um desligamento completo e rápido. Estas válvulas possuem uma esfera perfurada que, ao girar, alinha-se com a passagem do fluido, permitindo ou bloqueando completamente o fluxo. A simplicidade do *design* das válvulas esféricas garante uma operação fiável com uma manutenção mínima, o que é particularmente vantajoso em ambientes industriais rigorosos. A capacidade de proporcionar um corte completo e hermético do fluxo torna estas válvulas ideais para aplicações de emergência e de isolamento, onde a segurança e a rapidez são cruciais.

### 3.6 Human Machine Interface (HMI)

As HMIs são componentes fundamentais na instrumentação industrial, facilitando a interação entre os operadores e os sistemas de controlo, permitem que os operadores consigam monitorar todos os processos e ajustem os parâmetros conforme necessário, garantindo uma operação eficiente e segura. Existem diferentes tipos de HMIs, as telas táteis são a forma mais moderna e intuitiva de interface gráfica, permitindo que os operadores visualizem e interajam com o sistema de controlo de maneira direta e eficiente.

Estas telas oferecem gráficos, diagramas de processo e indicadores de estado que ajudam os operadores a compreenderem rapidamente o estado do sistema. A capacidade de interagir diretamente com a interface através do toque simplifica a navegação e o ajuste de parâmetros, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a precisão das operações. Os painéis de controlo são consolas físicas equipadas com botões, interruptores e indicadores, proporcionando uma interface tátil e direta para o controlo dos processos. Estes painéis são particularmente úteis em ambientes industriais onde a robustez e a fiabilidade são mais cruciais. Os operadores podem usar os botões e interruptores para iniciar, parar ou ajustar os processos de maneira imediata, enquanto os indicadores fornecem feedback visual sobre o estado do sistema. A simplicidade e a robustez dos painéis de controlo fazem deles uma escolha ideal para situações onde a operação precisa ser rápida e sem margem para erros.

O *software* de visualização consiste em programas que correm nos computadores industriais, dando a possibilidade de visualização e controlo avançados dos processos. Este software permite a integração de múltiplas fontes de dados e apresenta informações de forma compreensível e organizada. As capacidades avançadas de visualização incluem gráficos em tempo real, históricos de dados, alarmes e notificações, que ajudam os operadores a tomar decisões informadas e a agir rapidamente em caso de anomalias. Além disso, o *software* de visualização pode ser personalizado para atender às necessidades específicas de diferentes indústrias, proporcionando uma solução flexível e escalável.

### 3.7 Tecnologias de Comunicação

Uma comunicação eficiente é fundamental para monitorar, controlar e automatizar os processos industriais, as principais tecnologias de comunicação incluem *Fieldbus*, redes industriais, comunicação sem fios e a *Internet of Things* (IoT) Industrial.

A tecnologia *Fieldbus* refere-se a protocolos de comunicação digital, como o *Profibus* e o *Foundation Fieldbus*, que permitem a comunicação bidirecional entre dispositivos presentes no campo e os sistemas de controlo. Estes protocolos são projetados para ambientes industriais, proporcionando uma comunicação robusta e fiável. O *Fieldbus* permite que múltiplos dispositivos sejam conectados em uma única rede, reduzindo a necessidade de cablagem e facilitando a integração de sensores, atuadores e controladores. A comunicação bidirecional também permite a visualização contínua e o diagnóstico remoto, melhorando a eficiência e a manutenção dos sistemas.

As redes industriais, como *Ethernet* Industrial e *Modbus*, suportam a comunicação em rede entre dispositivos de controlo e sensores. A *Ethernet* Industrial, por exemplo, oferece alta velocidade de transmissão e grande capacidade de dados, sendo ideal para aplicações que exigem uma transferência rápida e volumes elevados de informações. O *Modbus* é um protocolo de comunicação serial, é amplamente utilizado pela sua simplicidade e fiabilidade. Estas redes permitem a interconexão de diversos dispositivos em um sistema integrado, facilitando a automação e o controlo centralizado dos processos industriais. As tecnologias sem fios, como *WirelessHART* e *ISA100*, permitem a comunicação sem fios entre dispositivos, facilitando a instalação e manutenção em locais de difícil acesso.

A comunicação sem fios elimina a necessidade de cabos, reduzindo os custos de instalação e aumentando a flexibilidade na colocação dos dispositivos. Estas tecnologias são particularmente úteis em instalações temporárias ou em áreas onde a cablagem seria impraticável ou dispendiosa. A IoT Industrial permite a conectividade dos dispositivos industriais à Internet, permitindo monitorar e controlar remotamente os dados em tempo real. A IoT Industrial facilita a coleta e análise de grandes volumes de dados provenientes de diversos dispositivos, proporcionando uma perspectiva valiosa para a otimização dos processos. A conectividade à Internet permite que os operadores façam uma visualização e o controlo dos processos a partir de qualquer lugar, aumentando a flexibilidade e a eficiência operacional. Além disso, a análise de dados em tempo real permite a antecipação de problemas e a implementação de ações corretivas imediatas, melhorando a qualidade e a produtividade.

### 3.8 Calibração e Teste

A calibração e os testes na instrumentação industrial são essenciais para garantir a precisão, a confiabilidade e a segurança dos processos industriais. Em ambientes onde a medição precisa é fundamental, como na indústria petroquímica, farmacêutica, alimentícia, e na automação de processos, a eficácia dos instrumentos de medição desempenha um papel crucial. Sem uma

calibração regular e testes adequados, o desempenho dos equipamentos pode ser comprometido, levando a medições imprecisas que podem resultar nas falhas de produção, problemas relativos à qualidade dos produtos, aumento de custos e até mesmo riscos à segurança. Uma das principais razões para existir a calibração é perceber se os instrumentos estão a funcionar dentro dos padrões aceitáveis, sem terem muito erro associado às medições. A precisão dos dados é crucial para controlar as variáveis dos processos, como temperatura, pressão, fluxo e nível. Instrumentos não calibrados podem desviar de seus valores reais, levando a produtos fora das especificações, retrabalho, desperdício de materiais e, em casos mais críticos, a produtos que não cumprem as normas de qualidade exigidas pelo mercado. A segurança é outro aspeto vital que depende diretamente da calibração e dos testes. Em indústrias que operam com substâncias perigosas ou processos em altas pressões e temperaturas, uma falha nos instrumentos de medição pode ter consequências graves, incluindo acidentes de trabalho, explosões ou vazamentos de substâncias tóxicas. Manter os equipamentos calibrados e testados assegura que todas as variáveis sejam monitoradas com precisão, permitindo a deteção e resposta rápida a condições anormais ou de risco. A conformidade com normas e regulamentações industriais é outro fator impulsionador da calibração periódica. Setores industriais são frequentemente submetidos a auditorias e verificações de conformidade que exigem provas documentadas da calibração e do desempenho adequado dos instrumentos. Estar em dia com esses requisitos não só evita multas e sanções, como também fortalece a reputação da empresa no mercado e demonstra seu compromisso com a qualidade e a segurança. Embora possa parecer um gasto adicional, a calibração regular é, na verdade, uma medida econômica a longo prazo. Equipamentos que operam de maneira precisa consomem menos energia, minimizam desperdícios e reduzem a necessidade de manutenção corretiva. Além disso, ao detetar problemas de desempenho antecipadamente, os testes evitam que pequenos defeitos se transformem em falhas significativas e dispendiosas para resolver. A calibração e os testes são fundamentais para a melhoria contínua dos processos industriais. Ao manter os instrumentos em perfeita condição de operação, é possível identificar oportunidades de otimização, redução de variabilidades nos processos e aumento da eficiência operacional. Essa abordagem proativa também permite que as empresas se mantenham competitivas em um mercado em constante evolução.

### **3.9 Tecnologias de Análise**

As tecnologias de análise garantem a qualidade, a segurança e a eficiência operacional nos processos industriais. Entre as principais tecnologias de análise estão os espectrómetros, os cromatógrafos e os analisadores de gases.

Os espectrómetros são dispositivos que analisam a composição espectral de substâncias, permitindo a identificação e quantificação de diferentes elementos e compostos. Estes instrumentos são extremamente úteis em indústrias químicas e farmacêuticas, onde a precisão na determinação da composição dos materiais é crucial.

Os espectrómetros utilizam a interação da luz com a matéria para fornecer informações detalhadas sobre a estrutura molecular e a concentração dos componentes analisados. Esta capacidade de análise precisa é vital para o desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade e garantia de conformidade com as especificações regulamentares.

Os cromatógrafos são instrumentos que separam e analisam misturas de substâncias, desempenhando um papel essencial em laboratórios de controlo de qualidade. A cromatografia permite a separação eficiente de componentes individuais de uma mistura complexa, facilitando a identificação e quantificação de cada componente. Esta técnica é amplamente utilizada em várias indústrias, incluindo a farmacêutica, alimentícia e ambiental, para garantir que os produtos finais atendam aos padrões de qualidade e segurança. A precisão e a sensibilidade dos cromatógrafos tornam-nos indispensáveis para a análise de contaminantes, a verificação da pureza dos materiais e o controlo dos processos de produção. Os analisadores de gases são dispositivos que medem a concentração de gases específicos no ambiente ou em processos industriais. Estes analisadores são crucialmente importantes para a segurança e o controlo ambiental, permitindo a deteção de gases potencialmente perigosos e o monitoramento da qualidade do ar. Em processos industriais, os analisadores de gases são usados para garantir que as emissões gasosas estejam dentro dos limites permitidos, contribuindo para a conformidade com as regulamentações ambientais e a proteção da saúde dos trabalhadores. A capacidade de monitorar em tempo real a concentração de gases ajuda a prevenir acidentes e a implementar rapidamente medidas corretivas quando necessário.

### **3.10 Software de Gestão da Instrumentação**

O *software* de gestão da instrumentação é utilizado para gerir dispositivos, que inclui, configuração, calibração e manutenção preditiva. Estes *softwares* especializados são essenciais para assegurar a precisão, a eficiência operacional e a conformidade com os padrões regulatórios nos processos industriais.

Entre os principais tipos de *software* de gestão de instrumentação estão os *Asset Management Software* (AMS) e o software de calibração. Os AMS são projetados para auxiliar na manutenção e otimização de dispositivos de campo. Estes sistemas registam históricos de desempenho e falhas dos dispositivos, permitindo uma gestão mais eficiente e proativa dos ativos industriais. Com o AMS, as empresas podem monitorar continuamente o estado dos seus equipamentos, identificar potenciais problemas antes que se tornem críticos e elaborar um protocolo de manutenção de forma mais eficaz. Esta abordagem preditiva à manutenção não só melhora a confiabilidade dos equipamentos como também reduz os tempos de inatividade e os custos operacionais. O *software* de calibração otimiza o processo de calibração de instrumentos, garantindo precisão e conformidade com os padrões regulatórios. A calibração regular dos instrumentos é crucial para manter a exatidão das medições e a qualidade dos processos industriais. O *software* de calibração simplifica este processo, realiza uma gestão automática dos calendários de calibração, gerando relatórios detalhados e mantendo registos completos das atividades de calibração. Esta otimização dos processos não apenas assegura que todos os

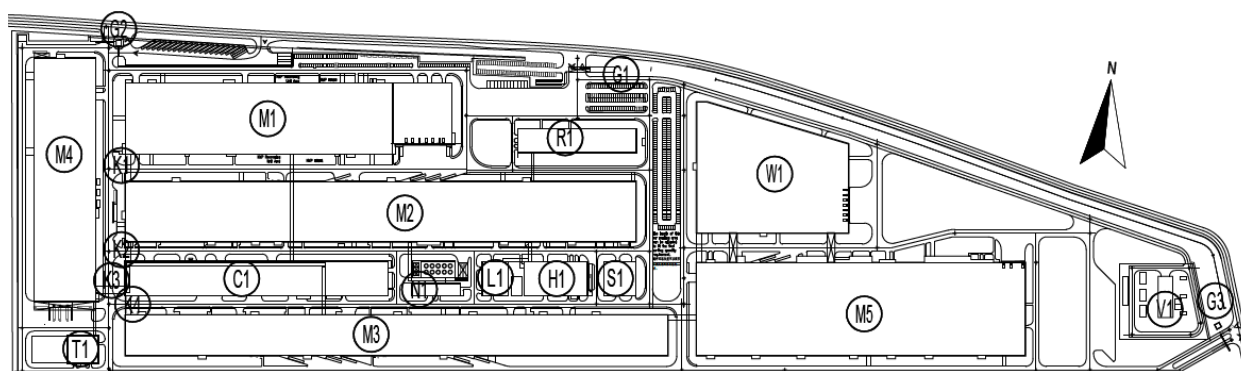
instrumentos estejam calibrados corretamente e em conformidade com as normas, mas também libera os técnicos de tarefas repetitivas, permitindo-lhes focar em atividades de maior valor. Estas tecnologias trabalham em sinergia para proporcionar uma visão abrangente e um controle preciso dos processos industriais. Ao integrar a gestão de ativos e a calibração dos instrumentos, as empresas conseguem obter uma visão holística do desempenho e da condição dos seus equipamentos. Isto contribui significativamente para a melhoria da eficiência operacional, pois permite uma resposta rápida a quaisquer desvios ou problemas identificados.

## **4 Caso de Estudo**

### **4.1 Descrição geral do Caso de Estudo**

O projeto desta dissertação visa fazer uma arquitetura que envolva automação e caracterização da instrumentação usada em alguns setores da fábrica de células de baterias CALB. As arquiteturas que serão aqui descritas poderão ser transversais e, conseqüentemente, aplicadas a outro tipo de indústrias, caso estas apresentem características semelhantes.

A fábrica é constituída por vários setores, tal como ilustra a figura 12. Foi feita uma análise dos diagramas de processos e das respectivas fichas dos equipamentos previstos a serem implementados na fábrica. Foi acordado que a melhor opção seria projetar a arquitetura para o edifício C1, porque era o setor com mais informação disponíveis e revistas.



- |  |  |
|--|--|
| H1 - ARMAZÉM DE QUÍMICOS / CHEMICAL STORAGE                          | L1 - LABORATÓRIO 1 / LABORATORY 1      |
| N1 - ESTAÇÃO DE NMP / NMP PURIFY STATION                             | G1 - PORTARIA 1 / GUARD HOUSE 1        |
| R1 - EDIFÍCIO R&D / R&D BUILDING                                     | G2 - PORTARIA 2 / GUARD HOUSE 2        |
| S1 - ESTAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS / SWT                               | G3 - PORTARIA 3 / GUARD HOUSE 3        |
| T1 - ETAR / WWTP   | V1 - SUBESTAÇÃO PRINCIPAL / SUBSTATION |
| Kx - CORREDORES LOGÍSTICOS / LOGISTIC CORRIDORS                      | W1 - ARMAZÉM GERAL / GENERAL WAREHOUSE |
| C1 - ED. CENTRAL DE UTILIDADES / CENTRAL UTILITY BUILDING (CUB)      |  |
| M1 - PRODUÇÃO ELÉTRODOS / ELECTRODE WORKSHOP                         |  |
| M2 - PRODUÇÃO BATERIAS QUADRADAS / SQUARE BATTERY WORKSHOP           |  |
| M3 - PRODUÇÃO DE BATERIAS CILÍNDRICAS / CYLINDRICAL BATTERY WORKSHOP |  |
| M4 - PRODUÇÃO DE INVÓLUCROS / PARTS MANUFACTORY                      |  |
| M5 - EMBALAGEM / PACKING WORKSHOP                                    |  |

Figura 12 - Planta da Fábrica CALB.

O edifício C1 é dividido em 3 processos distintos: o processo *Clean Dry Air* (CDA), *Process Cooling Water* (PCW) e *Process Nitrogen* (PN2), os esquemas relativos a cada processo está disponível em anexo. O processo CDA fica localizado na sala 1 e conta com 7 compressores centrífugos, 2 compressores de parafuso, 7 equipamentos de secagem, 14 filtros de ar e 4 tanques projetados para armazenar o ar comprimido. Este processo é extremamente importante uma vez que as células de baterias de íon-lítio são sensíveis à humidade.

A presença de água no ambiente de produção pode levar à decomposição do eletrólito e à formação de compostos indesejados, como o ácido fluorídrico. Esses compostos podem causar reações adversas dentro da célula, resultando numa diminuição da vida útil, falhas de desempenho ou até riscos de explosão. Além da humidade, as partículas presentes no ar podem contaminar os componentes da bateria durante a fabricação, especialmente o ânodo e o cátodo.

O processo CDA minimiza os riscos de contaminação, garantindo que as superfícies dos elétrodos permanecem limpas e sem defeitos que poderiam afetar a performance ou causar curtos-circuitos. Como este processo é altamente rigoroso, é necessário haver uma monitorização assídua dos equipamentos e ter uma visualização constante de todos os processos que estão a ser realizados.

Nesta sala temos uma entrada de água que vai entrar nos compressores e que deverá estar a 30°C. Existem também outras 2 entradas de água que irão estar presentes nos filtros e têm de estar a 6°C e 11°C, respetivamente. Este processo encontra-se ilustrado na figura 13.



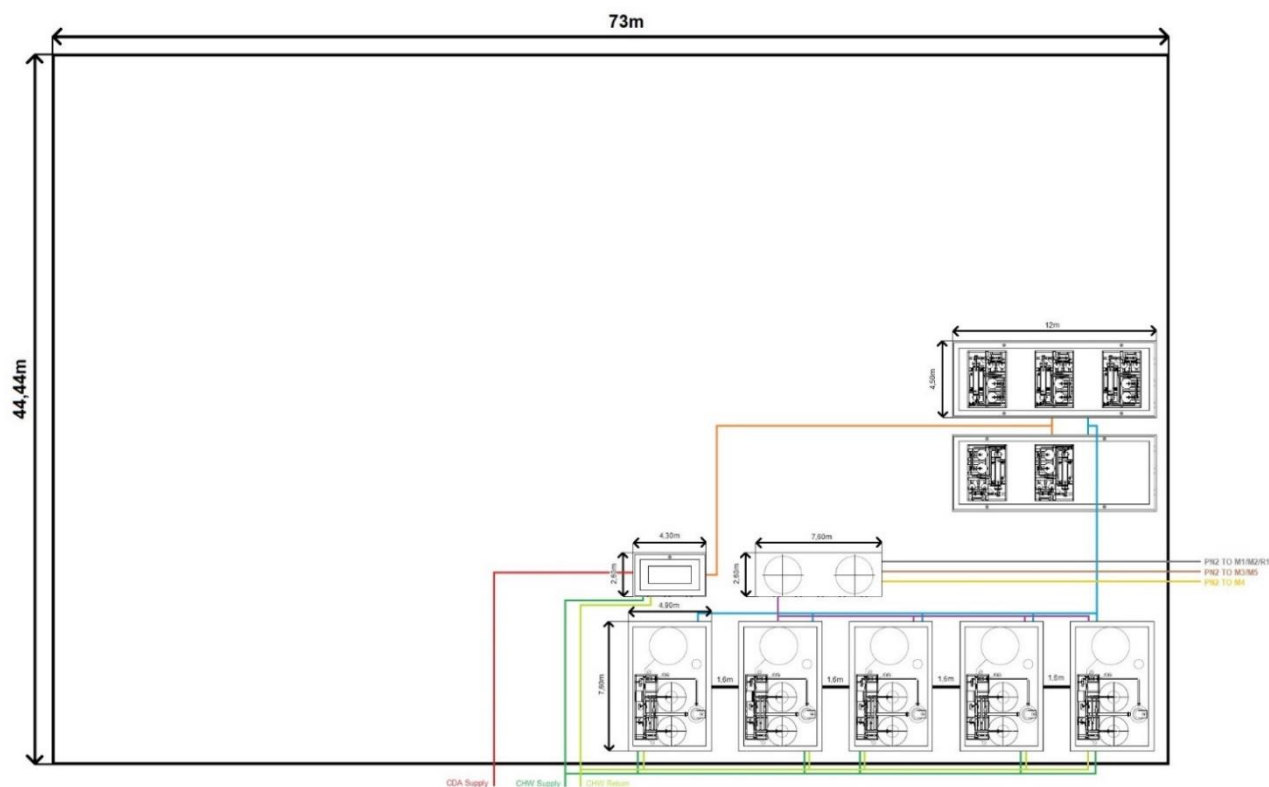


Figura 14 - Processo GN2.

Por fim, o processo *Process Cooling Water* (PCW) fica localizado na sala 2 e é crucial neste processo, porque desempenha um papel vital na operação segura e eficiente de uma vasta gama de processos industriais. A sua principal função é remover o calor gerado pelos equipamentos e processos industriais, mantendo as temperaturas dentro dos limites operacionais desejados.

O PCW é utilizado para arrefecer os equipamentos, permutadores de calor, compressores e outras máquinas presentes na fábrica que geram calor durante o funcionamento e necessitam de uma temperatura controlada, de modo a ter um rendimento operacional desejado. A produção de baterias, especialmente de lítio, está sujeita a rigorosos regulamentos de segurança devido ao risco de incêndios e explosões.

Manter o processo arrefecido adequadamente com PCW ajuda a mitigar estes riscos, garantindo que as operações estejam em conformidade com as normas de segurança industrial. Como ilustra a figura 15, nesta sala podemos encontrar 9 bombas de água, 9 permutadores de calor, 9 filtros de água e 1 filtro de ar. A água usada neste processo será posteriormente utilizada nos edifícios M1/M2/R1 e M4/M5.

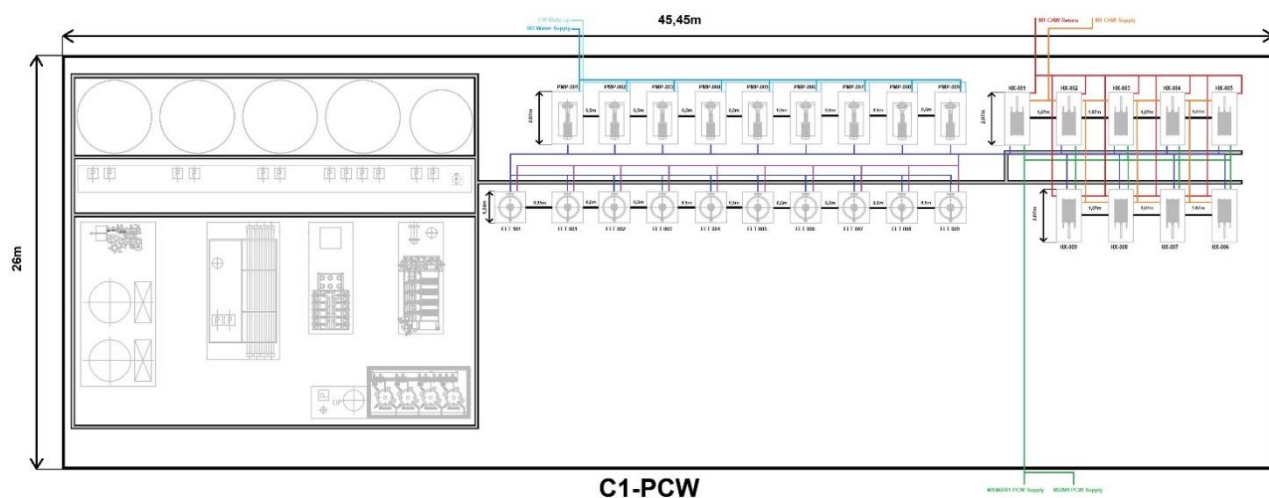


Figura 15 - Processo PCW.

Devido à vasta quantidade de equipamentos previstos para serem inseridos na fábrica, foi necessário reunir informação de todos os equipamentos, qual a sua descrição, identificação, localização, tipo de instrumentação, entradas e saídas. Para isto foi elaborado um Excel que reúne os dados relativamente a estes tópicos, tendo em conta a informação disponível. Mediante esta análise, foi posteriormente acordado que o melhor caso de estudo para esta dissertação seria o edifício C1.

## 4.2 Sensores das Arquiteturas

Tendo em conta as características solicitadas nos diagramas de processos, as escolhas dos sensores são influenciadas por fatores relativos a tubagens e equipamentos como tanques de armazenamento.

A faixa mínima e máxima de temperatura e pressão, também são um dos principais pontos a serem considerados na nossa escolha dos sensores. Na informação que foi disponibilizada relativamente ao que poderemos esperar de ser instalado no edifício, temos tubagens que podem fazer transporte de água e nitrogénio.

As tubagens podem variar entre o tamanho DN50 e DN300. Os sensores devem ter a capacidade de medir temperaturas variam entre os 0 a 50°C, 0 a 60°C e 1 a 200°C dependendo do local. Os sensores de pressão todos têm de ter uma faixa de medição entre os 0 e 1.0MPa.

### 4.2.1 Caracterização dos Sensores

Parte do trabalho desenvolvido no projeto para a elaboração das arquiteturas passou pela seleção dos sensores mais adequados. Considerando os três processos mencionados anteriormente, serão necessários sensores específicos para medir a temperatura. Após um

estudo sobre potenciais sensores, tendo em conta as especificações necessárias identificadas no campo e após entrar em contacto com a empresa *IFM Eletronic*, foi decidido utilizar sensores de temperatura RTD com elemento de medição PT1000.

A escolha entre uma PT100 e uma PT1000 teve como base o nível de sensibilidade que é necessário nos processos. Devido á necessidade de um elevado grau de precisão na medição da temperatura, a PT1000 é a mais indicada embora as duas tenham coeficientes de temperatura e um intervalo de medição semelhantes.

A PT100 é mais adequada para configurações de circuito de 3 ou 4 fios do que para uma configuração de 2 fios. Isto deve-se ao princípio de funcionamento do sensor PT100, onde a resistência interna é significativamente menor do que a da PT1000. Assim, a resistência indesejada dos fios e conectores tem um impacto maior nas medições.

Nas configurações de 3 ou 4 fios, a resistência dos fios é medida e compensada por instrumentos específicos, garantindo maior precisão nas medições. Os sensores PT1000 são mais adequados para aplicações com configurações de circuito de 2 fios. Como o sensor PT1000 tem uma resistência significativamente maior, o efeito na resistência causado pelos fios é menos relevante, pois representa uma menor percentagem da resistência total do circuito. Além disso, é possível medir valores de resistência mais elevados com menos corrente, as PT1000 consomem menos energia do que as PT100. Este menor consumo de energia gera menos calor, reduzindo os erros causados pelo aquecimento interno.

Na arquitetura vão ser usados 4 sensores de temperatura: TA2115, TA3115, TA2232 e TA2242 (ilustrados na figura 16).



Figura 16 - Sensores TA2115, TA3115, TA2232 e TA2242.

O sensor TA2115 é um sensor de temperatura altamente robusto e preciso, ideal para medir temperaturas em líquidos e gases. Ele utiliza um elemento de medição PT1000 de classe A, conforme a norma DIN EN 60751, e oferece uma gama de medição de -50°C a 150°C. O sensor é compatível com a interface IO-Link, o que permite a comunicação digital e configuração remota. Além disso, suporta pressões de até 400 bar, possui alta resistência a vibrações e choques, e é protegido contra curto-circuito e inversão de polaridade. As principais características deste sensor estão detalhadas na tabela 10.

Tabela 11 - Características Gerais do sensor TA2115.

Características do sensor TA2115	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidades de saídas analógicas: 1
Faixa de medição (Cº)	-50...150
Classe de proteção	IO-Link
Conexão do processo	conexão da rosca G 1/4
Comprimento de instalação EL [mm]	50
Dados Elétricos do sensor TA2115	
Tensão de operação (V)	18...32 DC; ("supply class 2" conforme cULus)
Consumo de corrente (mA)	< 50
Interface de comunicação	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Retardo de prontidão (s)	1
Saídas do sensor TA2115	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico; IO-Link; (configuráveis)
Corrente da saída analógica (mA)	4...20
Carga máx. ( $\Omega$ )	250; ((18...19 V); 19...32 V: 300 $\Omega$ )
Proteção contra curto-circuitos	sim

O sensor TA3115 é igual ao TA2115, com a única diferença de ser um sensor que não tem compatibilidade com a comunicação IO Link. E devido a esse facto é um pouco mais barato que o TA2115 e dessa maneira poderá ser aplicado nas arquiteturas que não necessitem desse tipo de comunicação.

O sensor TA2232 é semelhante ao TA2115, difere em alguns parâmetros como a faixa de medição, que é maior entre os -50°C a 200°C. A conexão do processo passa a ser uma  $\varnothing$  6 mm que é mais comum em aplicações que requerem inserção direta do sensor em um sistema, como em furos ou tubos sem necessidade de rosca. E o comprimento da instalação é maior devido às dimensões da tubagem presente no campo onde este sensor vai-se inserir. Estas características estão evidenciadas na tabela 11.

Tabela 12 - Características Gerais do sensor TA2232.

Características do sensor TA2232	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidades de saídas analógicas: 1
Faixa de medição (Cº)	-50...200
Classe de proteção	IO-Link
Conexão do processo	Ø 6 mm
Comprimento de instalação EL [mm]	100
Dados Elétricos do sensor TA2232	
Tensão de operação (V)	18...32 DC; ("supply class 2" conforme cULus)
Consumo de corrente (mA)	< 50
Interface de comunicação	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Retardo de prontidão (s)	2
Saídas do sensor TA2232	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico; IO-Link; (configuráveis)
Corrente da saída analógica (mA)	4...20
Carga máx. ( $\Omega$ )	250; ((18...19 V); 19...32 V: 300 $\Omega$ )
Proteção contra curto-circuitos	sim

O sensor TA2242 é praticamente igual ao T2232, a única diferença é no comprimento de instalação que passa a ser de 150mm. Esta escolha tem como base a profundidade em que o sensor será inserido no processo. Um comprimento maior permite que o sensor alcance locais mais profundos dentro da tubagem, o que pode ser crucial para medições precisas em determinados pontos do processo. Além disso, um comprimento adequado evita interferências mecânicas.

#### 4.2.2 Sensores de Pressão

Na escolha dos sensores de pressão para este sistema industrial, dois modelos foram considerados o PP7554 e o PT9554 ilustrados na figura 17. Ambos os sensores têm características distintas que os tornam mais adequados para diferentes tipos de aplicações, mas com particular destaque para a questão da conectividade e compatibilidade com sistemas modernos como o IO-Link.



Figura 17 - Sensores PP7554 e PT9554 da IFM.

O PP7554 destaca-se por ser um interruptor de pressão com célula de medição de cerâmica, projetado para aplicações industriais robustas. Um dos seus maiores pontos fortes é a compatibilidade com IO-Link, uma tecnologia de comunicação inovadora que permite uma troca de dados eficiente e flexível entre sensores e controladores.

Esta compatibilidade torna o PP7554 a escolha ideal para arquiteturas modernas que utilizam IO-Link, proporcionando uma maior facilidade na parametrização, monitorização e diagnóstico remoto do sensor. As principais características estão presentes na tabela 12.

Tabela 13 - Características Gerais do sensor PP7554.

Características do sensor PP7554	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas digitais: 2
Alcance de medição	-0,1...1 MPa
Conexão do Processo	conexão da rosca G 1/4 rosca externa Rosca interna:M5
Dados Elétricos do sensor PP7554	
Tensão de operação (V)	9,6...36 DC; (operação de comunicação: 18...32)
Consumo de corrente (mA)	< 45

Resistência de isolamento min. (MΩ)	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Retardo de prontidão (s)	0,3
Saídas do sensor PP7554	
Saídas totais	2
Sinal de saída	signal de comutação; IO-Link; (configuráveis)
Proteção contra curtos-circuitos	sim
Proteção contra sobrecarga	sim

Além disso, o PP7554 oferece duas saídas digitais configuráveis, permitindo que seja ajustado para diferentes estados de comutação, o que proporciona maior flexibilidade em aplicações onde múltiplas condições de pressão precisam ser monitoradas. Esta flexibilidade é essencial para processos industriais complexos, onde uma alta precisão e uma configuração personalizada são necessárias. O elemento de medição em cerâmica garante uma excelente resistência à corrosão e uma durabilidade prolongada, o que faz deste sensor uma escolha segura para ambientes agressivos.

Por outro lado, o PT9554 é um transmissor de pressão que se destaca pela sua simplicidade e robustez. Este sensor é ideal para ambientes onde a robustez e a resistência à pressão são cruciais. O PT9554 utiliza uma célula de medição em aço inoxidável (316L), que oferece uma elevada resistência mecânica e é adequado para uma ampla gama de aplicações com fluidos líquidos e gasosos.

Embora o PT9554 não suporte IO-Link, a sua simplicidade é uma vantagem em sistemas mais convencionais, onde a comunicação avançada não é necessária. Com uma única saída analógica, o PT9554 oferece uma solução direta e eficaz para monitorar a pressão em aplicações onde uma única variável precisa ser transmitida de forma contínua e precisa. Podemos ver algumas das características na tabela 13.

Tabela 14 - Características Gerais do sensor PT9554.

Características do sensor PT9554	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas digitais: 2
Alcance de medição	0...1 MPa
Conexão do Processo	conexão da rosca G 1/4 rosca externa

Dados Elétricos do sensor PT9554	
Tensão de operação (V)	16...36 DC
Consumo de corrente (mA)	< 6
Resistência de isolamento min. (MΩ)	100; (80 V DC)
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Saídas do sensor PT9554	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico
Quantidade de saídas analógicas	1
Tensão da saída analógica (V)	0...10
Min. resistência de carga (Ω)	2000

A sua construção em aço inoxidável também garante durabilidade em ambientes menos agressivos, oferecendo uma vida útil longa e uma resistência confiável em aplicações móveis ou industriais simples.

### 4.3 Índice de Proteção

O Índice de Proteção (IP) é um parâmetro essencial nas indústrias, especialmente nos campos da instrumentação e automação. O IP é definido por normas internacionais, como a IEC 60529, e classifica o grau de proteção que os dispositivos oferecem contra a penetração de objetos sólidos e líquidos.

O IP é composto por dois dígitos: o primeiro refere-se à proteção contra sólidos (como poeiras e partículas), enquanto o segundo indica a proteção contra líquidos (como água e óleos). Por exemplo, um dispositivo com a classificação IP67 está totalmente protegido contra poeira (6) e pode ser submerso em água por um curto período (7), sem sofrer danos assim como ilustra a figura 18.

		0	1	2	3	4	5	6	7	8
		Não protegido	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água para uma inclinação máxima de 15 graus	Protegido contra água aspergida de um ângulo de $\pm 69$ graus	Protegido contra projeções de água	Protegido contra jatos d'água	Protegido contra jatos potentes de água	Protegido contra imersão temporária	Protegido contra submersão
Não protegido	0	IP 00	IP 01	IP 02	10 l/min 80 kN/m <sup>2</sup>	10 l/min 80 kN/m <sup>2</sup>				
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 50mm	1	IP 10	IP 11	IP 12	IP 13					
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 12mm	2	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 2,5mm	3	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34				
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 1mm	4	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	IP 45	IP 46		
Protegido contra poeira de pressão: 200mm de coluna d'água Máxima aspiração de ar: 80 vezes o volume do invólucro	5					IP 54	IP 55	IP 56		
Totalmente protegido contra a poeira. Mesmo procedimento de teste	6						IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

Figura 18 - Índices de Proteção.

O IP que foi requisitado para as 2 salas foi o IP 54 que protege contra poeiras e emissões de água. Os sensores de temperatura têm todos um IP 67, IP 68 e IP 69K. Relativamente aos sensores de pressão, o sensor PP7554 tem um IP 68 e o PT9554 possui um IP 67, IP 69K. O IP destes sensores cobre todas as necessidades do ambiente onde vão ser inseridos e oferecem uma margem de segurança adicional.

## 4.4 Aquisição de Dados

Neste projeto, foram estudados vários métodos possíveis de realizar a aquisição de dados relativamente aos sensores. Como existem várias opções no mercado, foram elaboradas 3 arquiteturas diferentes. Isto significa que irão existir 3 métodos distintos para fazer a mesma aquisição de dados relativamente à temperatura e pressão. Os pontos fortes e fracos destas 3 abordagens serão expressos neste subcapítulo.

### 4.4.1 STBACI1400K DE E/S Distribuídas

O STBACI1400K ilustrado na figura 19 é uma solução robusta para a aquisição de dados nos sistemas de automação industrial, especialmente concebida para aplicações que requerem alta precisão na leitura de sinais analógicos. Este modelo é compatível com o PLC Modicon M340 e faz parte da gama de produtos Modicon STB da *Shneider*. É composto por um módulo de entradas analógicas, uma base de montagem, e contactos com terminais de parafuso e mola.

O STBACI1400K suporta sinais de corrente em duas faixas distintas: 0...20 mA e 4...20 mA, com uma resolução de 15 bits, incluindo um bit adicional para identificar o sinal positivo ou negativo. Esta alta resolução permite capturar detalhes subtis nas medições analógicas, permitindo um controlo mais rigoroso. Além disso, inclui um filtro de entrada de passagem baixa com uma frequência de 985 Hz, que ajuda a suavizar ruídos indesejados no sinal, garantindo leituras mais estáveis.



Figura 19 - STBACI1400K.

Uma das principais vantagens deste kit é a sua precisão. A sua resolução permite uma medição extremamente detalhada dos sinais analógicos, o que é extremamente útil para aplicações que dependem de exatidão das leituras dos sensores. Além disso, a flexibilidade de operar em duas faixas de corrente diferentes aumenta a compatibilidade com uma vasta gama de sensores analógicos. O isolamento de 1500 V em 1 minuto entre os canais e o barramento lógico garante uma maior segurança e minimiza o risco de interferências e danos do sistema.

Apesar das suas muitas vantagens, o STBACI1400K tem algumas limitações. O tempo de atualização dos dados é de 22 ms, o que pode ser uma desvantagem em aplicações que exigem resposta em tempo real. Além disso, a corrente máxima fornecida aos sensores é de 100 mA por canal de entrada, o que pode não ser suficiente para sensores que necessitem de maior potência.

#### 4.4.2 Modicon TM3 TM3AI8

O Módulo de Expansão TM3AI8, presente na figura 20, é uma solução desenvolvida pela *Schneider Electric* e foi concebido para facilitar a aquisição de sinais analógicos. Permitindo aos utilizadores integrar um maior número de entradas analógicas nos seus sistemas de automação. O TM3AI8 oferece 8 contactos para entradas analógicas, que podem ser configurados para operar em diferentes faixas de tensão e corrente, assim como STBACI1400K. O que também torna este equipamento adequado para uma ampla gama de aplicações industriais, onde é necessário monitorar e controlar vários tipos de sinais analógicos.



Figura 20 - TM3AI8.

A capacidade de configurar cada canal para diferentes tipos de sinais analógicos permite aos utilizadores ajustar o módulo às suas necessidades tendo em conta a área de aplicação, sem a necessidade de hardware adicional. Outra vantagem significativa é a simplicidade na integração com programadores lógicos da *Shneider*. A comunicação e a alimentação são geridas diretamente através da conexão ao controlador principal, o que reduz a complexidade da cablagem e facilita a manutenção do sistema.

A principal desvantagem deste equipamento está na sua dependência dos PLCs da série Modicon M221, M241, M251 e M262 o que pode limitar a sua utilização em sistemas que não utilizem estes controladores específicos.

#### 4.4.3 IO-LINK Master AL1326

O *IO-Link Master AL1326* possui uma interface que utiliza o protocolo de comunicação Ethernet/IP. É um dispositivo projetado para facilitar a comunicação entre sensores/atuadores inteligentes e o sistema de controlo, fazendo o uso da tecnologia IO-Link, que é um padrão internacional de comunicação ponto-a-ponto. Este equipamento, ilustrado na figura 21, é essencial para a integração de sensores e dispositivos em redes industriais modernas, oferecendo uma solução robusta e flexível para a automação industrial.



Figura 21 - AL1326.

O AL1326 permite a ligação de até oito dispositivos IO-Link, proporcionando uma interface direta com redes Ethernet/IP, que são amplamente utilizadas nos sistemas de automação industrial. Suporta taxas de transmissão de dados até 100 Mb/s, garantindo uma comunicação rápida e eficiente. Além disso, o dispositivo é construído para funcionar em condições adversas, possuindo um IP67. Uma das principais vantagens deste dispositivo é a sua capacidade de fornecer tanto alimentação quanto comunicação para os dispositivos IO Link através de um único cabo, simplificando a instalação e reduzindo a complexidade do sistema.

Embora o AL1326 ofereça muitas vantagens, também apresenta algumas limitações. A necessidade de dispositivos compatíveis com IO Link pode ser uma barreira, já que nem todos os sensores e atuadores suportam este protocolo. Isso pode limitar a escolha de equipamentos ou exigir a substituição dos dispositivos, de modo a aproveitar totalmente as capacidades do IO Link Master. Além disso, a complexidade na configuração da arquitetura usando estes

dispositivos IO Link, exige um nível de conhecimento técnico mais elevado, o que pode ser um desafio para equipas menos experientes ou para instalações menores que não possuam especialistas em automação.

## 4.5 Módulos de Transferência de Dados

Ao contrário do IO-Link Master AL1326 que consegue fazer a aquisição e transferência de dados para um PLC tudo num bloco só. Os restantes dos equipamentos apresentados anteriormente precisam de equipamentos auxiliares para fazer essa transmissão de dados, quando estão longe do PLC. Isto porque os equipamentos onde os sensores se localizam estão a uma certa distância, é necessário fazer a aquisição de dados remotamente.

### 4.5.1 Modicon TM3 Módulo de IO Distribuído TM3BCEIP

O TM3BCEIP, representado na figura 22, é um módulo capaz de fazer a transferência de dados entre o módulo de Expansão TM3AI8 e o PLC. Este módulo permite a ligação dos módulos de expansão presentes no catálogo TM3 através de uma rede Ethernet.



Figura 22 - TM3BCEIP.

O TM3BCEIP é equipado com duas portas Ethernet RJ45 que conseguem ser ligadas em série, permitindo a interligação de múltiplos módulos numa rede com alta fiabilidade. Também suporta tanto o modo de troca de dados em *half-duplex* (dados podem ser enviados ou recebidos, mas apenas uma ação pode ocorrer de cada vez) quanto *full-duplex* (o módulo pode enviar e receber dados simultaneamente), com uma taxa de transmissão de 10/100 Mbit/s, garantindo a adaptabilidade às necessidades da rede. O módulo é compatível com vários protocolos de comunicação, incluindo Ethernet/IP, Modbus TCP, e IPv4, e oferece serviços como um servidor *File Transfer Protocol* (FTP) onde certos dispositivos ou computadores podem conectar-se a este servidor para fazer upload ou download de arquivos. Servidor web o que significa que ele pode hospedar uma interface acessível através de um navegador de internet. Essa interface geralmente permite a configuração, monitorização e manutenção do módulo remotamente, facilitando o acesso e o controlo das suas funcionalidades. Possui um protocolo de cliente/servidor *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), onde o módulo pode automaticamente obter um endereço IP de um servidor DHCP na rede.

Isso simplifica a configuração da rede, pois não é necessário definir manualmente o endereço IP do módulo. E por fim, tem suporte para topologias de anel *Rapid Spanning Tree Protocol* que é um protocolo utilizado para prevenir *loops* na rede, que podem ocorrer em topologias de anel. O TM3BCEIP tem um consumo máximo de 0,8 A a 24 V DC e pode alimentar até sete módulos de expansão adicionais.

#### 4.5.2 Modicon TM3 TM3XREC1 e TM3XTRA1

Os módulos TM3XREC1 e TM3XTRA1 são essenciais para a arquitetura de automação industrial realizada neste projeto. Pois devido à disposição dos equipamentos é exigido uma certa flexibilidade e expansibilidade na aquisição das entradas e saídas (I/O). Estes dois equipamentos permitem essa mesma disposição pois oferecem a possibilidade de adquirir os dados dos sensores remotamente.

A figura 23 ilustra como o controlador Modicon M262 pode ser integrado com módulos de entrada/saída (I/O) da série Modicon TM3, tanto em configurações locais quanto remotas, possibilitando a expansão do sistema de forma eficiente e organizada. Esta distribuição só é possível através dos módulos TM3XREC1 e o TM3XTRA1 que são responsáveis por fazer a recepção e emissão dos dados respetivamente, através de um cabo Ethernet RJ45.

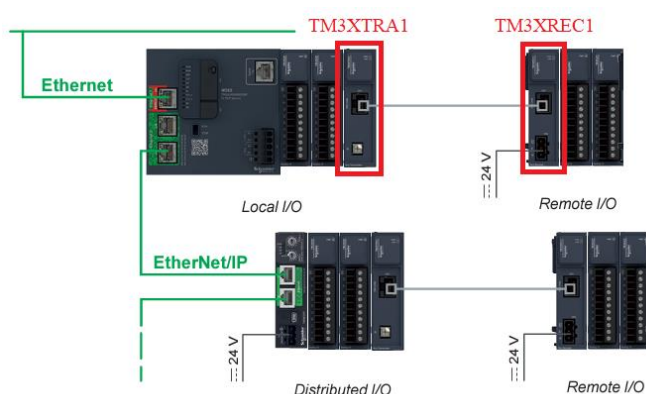


Figura 23 - Conexão TM3.

O Controlador Modicon M262 que está localizado no lado esquerdo da imagem é responsável por gerir as operações lógicas do sistema. Ele suporta a ligação dos módulos de I/O local diretamente. O PLC M262 permite a ligação de até 7 módulos de expansão TM3 diretamente ao seu lado direito. Estes módulos são considerados como I/O locais.

O M262 também pode gerir módulos de I/O que estão localizados remotamente. Estes módulos de I/O remotos são conectados ao PLC através de um acoplador (TM3BCEIP). O TM3BCEIP permite que até 7 módulos TM3 adicionais sejam conectados remotamente, somando assim um total de 14 módulos TM3 (7 locais + 7 remotos) controlados pelo M262.

A imagem também ilustra uma configuração de I/O distribuída, onde podem ser ligados até 64 módulos TM3 utilizando os TM3BCEIP (Ethernet/IP ou Modbus/TCP). Este tipo de arquitetura é

ideal para sistemas que requerem uma distribuição extensa de pontos de I/O ao longo de diferentes áreas de uma planta.

#### 4.5.3 Módulo de Interface de Rede STB STBNIP2311

O módulo de interface de rede STB STBNIP2311, ilustrado na figura 24, faz parte da gama de produtos Modicon STB da *Schneider Electric* e é usado em arquiteturas de I/O distribuídas, assim como o TM3BCEIP. Este equipamento serve como uma interface de rede para comunicação em sistemas de automação, permite ligar e integrar diversos dispositivos através de uma rede Ethernet utilizando o protocolo Modbus TCP/IP.



Figura 24 - STBNIP2311.

As principais características incluem portas Ethernet que também suportam velocidades de transmissão de 10/100 Mbit/s. Suporte de protocolos como o TCP/IP Modbus, SNMP, BootP/DHC e inclui também uma interface web incorporada para configuração, diagnóstico e acesso às variáveis do sistema. Consegue ter até 32 módulos de I/O ligados remotamente como está na figura 25, proporcionando uma solução flexível para o controlo de processos.

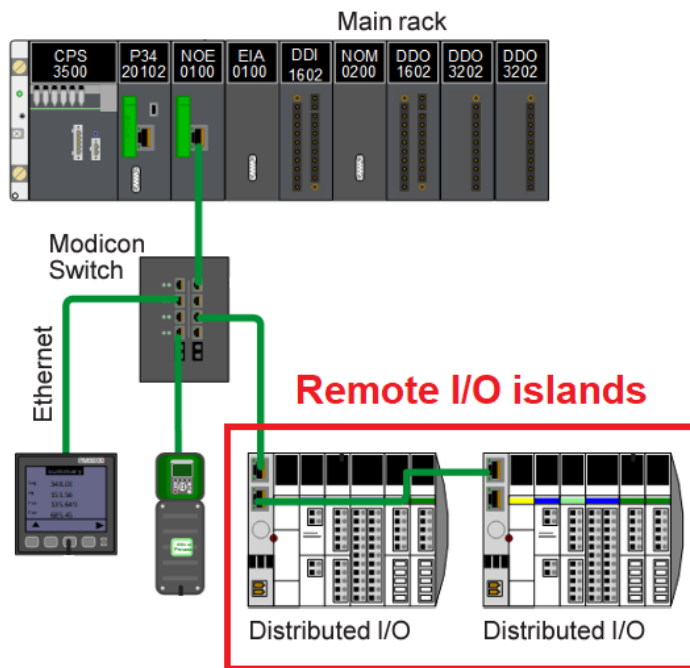


Figura 25 - Conexão STB.

## 4.6 Fontes de Alimentação

A escolha de uma fonte de alimentação adequada é crucial para o desempenho e fiabilidade dos sistemas de automação industrial. A fonte de alimentação será responsável por fornecer energia estável e consistente a todos os componentes, desde os PLCs, sensores, atuadores e interfaces de utilizador. Uma escolha inadequada pode levar a uma série de problemas graves, como interrupções no funcionamento, falhas de equipamentos, ou, em casos extremos, danos permanentes aos componentes do sistema.

As fontes de alimentação devem ser capazes de suportar variações de carga e outras interferências comuns em ambientes industriais, sem comprometer a operação do sistema. Além disso, uma fonte de alimentação deve possuir uma eficiência energética elevada, minimizando perdas e reduzindo custos operacionais. A proteção contra sobrecargas e curto-circuitos é bastante importante, pois garante a segurança do sistema e prolonga a vida útil dos componentes.

#### 4.6.1 Fontes de Alimentação IFM

Para uma arquitetura, que envolva a alimentação de mestres *IO-Link* da IFM, os equipamentos recomendados serão as fontes de alimentação E84036, DN4034 e DN4012 (ver figura 26) que são as mais indicadas para garantir a estabilidade, eficiência e segurança do sistema.



Figura 26 - Fontes de Alimentação DN4012, DN4034 e E84036.

A fonte de alimentação E84036 tem a capacidade de fornecer uma corrente de até 40A, o que é mais que suficiente para alimentar todos os 6 mestres *IO-Link*. Possui uma tensão de saída ajustável e garante que a alimentação dos mestres esteja dentro das especificações necessárias.

A fonte E84036 deve ser configurada adequadamente para garantir que a saída esteja ajustada para fornecer a tensão correta aos mestres. Como a corrente necessária é relativamente alta, é essencial que a fonte esteja a operar dentro da sua faixa ideal de potência para evitar sobrecargas ou perdas que possam afetar o seu desempenho.

A E84036 está equipada com proteções robustas contra sobrecargas, o que é essencial ao lidar com altos consumos de corrente. Em caso de sobrecarga, a fonte pode limitar ou cortar a saída para proteger tanto a fonte quanto os dispositivos conectados a ela. Oferece também proteção contra sobretensões, prevenindo danos que poderiam ser causados por picos de tensão inesperados na rede elétrica.

A DN4034 pode fornecer até 20A de corrente contínua e capacidade de fornecer até 30A brevemente. Estas fontes garantem um fornecimento de energia robusto e confiável, mesmo em momentos de pico de consumo. Como a DN4034 opera em redes trifásicas, ela será especialmente eficaz em ambientes industriais onde a eficiência e a estabilidade são críticas.

É importante assegurar que a instalação elétrica suporte as necessidades de entrada de cada uma das DN4034, aproveitando seu alto fator de potência para minimizar perdas e garantir a eficiência energética. A DN4034 também possui proteção contra sobrecarga integrada e proteção contra sobretensões. A alta eficiência e um fator de potência de até 0,95 contribuem para a economia de energia e operação estável, reduzindo o impacto na rede elétrica industrial.

A DN4012 tem uma capacidade de fornecer até 5A, o que é ideal para alimentar um mestre *IO-Link* que esteja sozinho, já que o consumo de 3,9A da sua capacidade operacional. Garantindo assim uma margem confortável para assegurar a estabilidade do sistema onde se encontram. Assim como as outras fontes, a DN4012 oferece proteção contra sobrecargas e contra sobretensão.

A DN4012 é projetada para suportar ambientes industriais adversos, com resistência a vibrações e choques, o que a torna adequada para instalações onde a robustez é necessária. Possui também uma eficiência de cerca de 90%, garantindo que a energia seja utilizada de maneira eficaz, minimizando desperdícios e contribuindo para a sustentabilidade do sistema.

#### 4.6.2 Fontes de Alimentação SCHNEIDER

As fontes de alimentação da série *Modicon Power Supply* da *Schneider Electric* são equipamentos robustos e eficientes, projetados para aplicações industriais exigentes. Entre os modelos desta série, vão ser usados os: ABLM1A24006, ABLM1A24012, ABLM1A24025 e ABLM1A24021 (representadas na figura 27). Cada uma destas fontes tem características específicas que as tornam adequadas, tendo em conta os equipamentos que vão alimentar.



Figura 27 - ABLM1A24006, ABLM1A24012, ABLM1A24025 e ABLM1A24021.

A ABLM1A24006 é a fonte de alimentação mais compacta e de menor capacidade da série. Projetada para aplicações que requerem menor consumo de energia, oferece uma tensão de saída de 24 V CC, uma corrente de saída de 0,625 A e uma potência nominal de 15 W. Possui uma eficiência de 81% tanto a 115 V AC como a 230 V AC. Inclui proteção contra sobrecarga, curtos-circuitos, excesso de temperatura e sobretensão, com restabelecimento automático ou manual consoante o tipo de proteção.

A ABLM1A24012 representa uma solução intermediária dentro da série, oferecendo uma maior capacidade em comparação com o modelo ABLM1A24006. As suas principais características incluem uma tensão de saída de 24 V CC, uma corrente de saída de 1,25 A e uma potência nominal de 30 W, com uma eficiência de 87% a 115 V AC e 230 V AC. Como a ABLM1A24006,

este modelo também dispõe de proteção contra sobrecarga, curtos-circuitos, excesso de temperatura e sobretensão, assegurando a fiabilidade do sistema em que é utilizada. A ABLM1A24012 é adequada para aplicações que exigem uma fonte de alimentação mais robusta, mantendo ainda uma estrutura compacta.

A ABLM1A24025 é a fonte de alimentação de maior capacidade desta série, projetada para aplicações que demandam maior potência. As suas características incluem uma tensão de saída de 24 V CC, uma corrente de saída de 2,5 A e uma potência nominal de 60 W, com uma eficiência de 90% a 115 V AC e 230 V AC. As dimensões são de 91 mm de altura, 53 mm de largura e 55,6 mm de profundidade, e o peso é de 0,221 kg.

Tal como os outros modelos, oferece proteção contra sobrecarga, curtos-circuitos, excesso de temperatura e sobretensão, mas com uma capacidade superior para lidar com cargas maiores. Este modelo é a escolha ideal para sistemas industriais que requerem um fornecimento de energia mais elevado, garantindo eficiência e segurança.

A ABLS1A24021 é uma fonte de alimentação regulada monofásica. Esta fonte de alimentação oferece uma tensão de saída de 24 V CC com uma corrente de saída máxima de 2,1 A, resultando numa potência nominal de 50,4 W. Também inclui diversas proteções integradas, como contra sobrecarga, curto-circuito, excesso de temperatura e sobretensão.

## 4.7 Switch de 5 Portas MCSESU053FN0

O Modicon *Unmanaged Switch* de 5 portas da *Schneider Electric*, presente na figura 28, é um componente crucial para a integração das 3 arquiteturas de automação industrial. Este *switch* tem 5 portas Ethernet disponíveis e vai ser usado conectar o PLC aos dispositivos responsáveis pela aquisição de dados. É capaz de suportar as condições exigentes típicas de fábricas e plantas industriais, garantindo uma comunicação estável e contínua entre os dispositivos conectados.



Figura 28 - Switch MCSESU053FN0.

Como é um *switch* não gerido, a sua instalação é extremamente simplificada, não exigindo configurações manuais complexas. Este equipamento assegura que os dados capturados pelos dispositivos de campo sejam transmitidos de forma eficiente para o autómato, permitindo que o sistema de controlo industrial funcione de forma otimizada.

Com suporte para velocidades de transmissão de até 100 Mbps por porta. Proporciona uma largura de banda adequada para a maioria das aplicações de automação, garantindo que as operações críticas de aquisição de dados e controlo sejam executadas sem atrasos.

## 4.8 Autômatos Programáveis

Como foram elaboradas 3 arquiteturas, a escolha do autômato teve de ser estudada consoante as compatibilidades que eram necessárias relativamente aos equipamentos que fazem a aquisição de dados. Tendo isto em conta, foram estudados 2 possíveis autômatos da marca *Shneider Electric* devido há já existente colaboração desta empresa com a Quadrante para este projeto. Porém, qualquer autômato que tenha características semelhantes às que vão ser apresentadas, também poderá ser usado.

Os PLCs que vão ser usados são os Modicon M340 e o M262. O M340 tem compatibilidade com os equipamentos da gama STB o M262 funciona com dispositivos *IO-Link* e dispositivos da gama TM3. Para visualizar as principais diferenças entres estes dois autômatos, foi criada uma tabela 16, que contém as suas características. Posteriormente essa informação será mais detalhada nos subcapítulos 4.8.1 e 4.8.2.

Tabela 15 - Principais Diferenças entre os PLC's M340 e M262.

Características	Modicon M340	Modicon M262
<b>Velocidade de Processamento</b>	0,12 $\mu$ s por instrução booleana	5 ns por instrução otimizada
<b>Memória RAM</b>	4 MB	32 MB para programa, 192 MB para sistema
<b>Memória Flash</b>	Inclui cartão de memória BMXRMS008MP	1 GB de memória flash integrada
<b>Capacidade de Expansão de Memória</b>	Não suporta cartões adicionais	Suporta cartão SDHC até 32 GB
<b>Portas Ethernet</b>	1 porta RJ45 (10/100 Mbps)	3 portas Ethernet : 1x 10/100BASE-T e 2x 100/1000BASE-T
<b>Portas Seriais</b>	2 portas RJ45 (Modbus RTU/ASCII, RS232C/RS485)	1 porta RJ45 (RS232/RS485)
<b>Porta USB</b>	1 porta USB (12 Mbps)	1 porta USB tipo mini B (480 Mbps)

<b>Protocolos de Comunicação</b>	TCP/IP, Modbus RTU/ASCII, SNMP	Ethernet/IP, Modbus TCP, MQTT, OPC UA, entre outros
<b>Capacidade de Expansão</b>	Suporta até 4 <i>racks</i> , com 11 slots por <i>rack</i>	Suporte para até 7 módulos de expansão local e 64 módulos distribuídos
<b>Tarefas de Aplicação</b>	1 tarefa cíclica principal, 1 tarefa rápida periódica	8 tarefas de eventos, até 4 tarefas cíclicas
<b>Temperatura de Operação</b>	0°C a 60°C	-20°C a 60°C (horizontal); -20°C a 50°C (vertical)
<b>Proteção Ambiental</b>	IP20	IP20
<b>Certificações</b>	CE, UL, CSA	CE, UL, cULus, EAC, entre outras
<b>Consumo de Energia</b>	95 mA a 24 V DC	82 W
<b>Funções de Segurança e Diagnóstico</b>	LEDs de diagnóstico para falhas no sistema e módulos	LEDs de diagnóstico para atividade de rede, falhas, e estado do sistema
<b>Sustentabilidade</b>	Green Premium™	Green Premium™

#### 4.8.1 PLC Modicon M340 BMXP342020

O Modicon M340 BMXP342020, ilustrado na figura 29, é um controlador lógico programável de alto desempenho, projetado para atender ao controlo de processos existentes numa das 3 arquiteturas. Este autómato vai ser integrado na arquitetura da série STB para fazer o controlo dos processos presentes na sala 1 e 2. Este PLC destaca-se pela sua versatilidade, robustez e capacidade de processamento.

Através de uma arquitetura modular, o PLC M340 suporta configurações expansíveis, podendo assim ser usado em instalações mais extensas. Ele oferece uma capacidade de entradas e saídas, com suporte para até 1024 E/S digitais em configurações que utilizam múltiplos *racks*, ou 704 E/S em configurações de um *rack* único.

No que se refere às E/S analógicas, o PLC pode gerenciar até 256 canais em sistemas de múltiplos *racks*, ou 66 canais em sistemas de *rack* simples, o que permite um controlo preciso de variáveis analógicas como temperatura, pressão e fluxo.



Figura 29 - PLC Modicon M340.

A conectividade do M340 possui múltiplas portas de comunicação, o PLC garante a integração eficiente com outros dispositivos e sistemas. Ele possui uma porta *Ethernet* RJ45 que suporta TCP/IP com velocidades de 10/100 Mbps. Além disso, dispõe de portas de série RJ45, compatíveis com protocolos *Modbus* RTU e ASCII, em modos RS232C e RS485.

Estas portas de série permitem a comunicação com dispositivos integrados na rede industrial existente, sem a necessidade de hardware adicional. Tem uma porta USB, com uma velocidade de 12 Mbit/s que facilita ainda mais a configuração, monitorização e atualização do sistema, tornando o processo de manutenção mais simples e eficiente.

O processamento do M340 permite que ele execute operações de controlo em tempo real com elevada eficiência. Tem um tempo de execução por instrução de apenas 0,12 microssegundos para operações booleanas, este PLC pode executar até 8,1 mil instruções por milissegundo em cenários otimizados, garantindo que mesmo as aplicações mais críticas sejam geridas de forma ágil. Além disso, o PLC suporta até 64 tarefas de eventos, permitindo a criação de lógicas de controlo sofisticadas que respondem rapidamente a diferentes condições de operação.

A estrutura da aplicação inclui uma tarefa cíclica principal, que garante a execução periódica das operações de controlo, e uma tarefa rápida periódica, ideal para aplicações que requerem uma resposta muito rápida. Possui uma memória de 4 MB de RAM interna, o que permite armazenar um grande volume de dados.

Este PLC também vem com um cartão de memória BMXRMS008MP, que facilita o backup de programas e dados e também ativa funcionalidades adicionais como o servidor web. Isso permite o acesso remoto do sistema.

O PLC suporta temperaturas operacionais de 0 a 60°C, e tem um índice de proteção IP20. Além disso, o M340 cumpre com diversas certificações internacionais, incluindo CE, UL, e CSA, assegurando que ele atende aos mais altos padrões de segurança e compatibilidade eletromagnética.

#### **4.8.2 PLC Modicon M262 TM262L01MESE8T**

O Modicon M262 TM262L01MESE8T, ilustrado na figura 30, é um autómato de última geração, concebido para atender às exigências do IIoT e da indústria 4.0.



Figura 30 - PLC Modicon M262.

Este PLC vai ser usado nas arquiteturas onde vão ser inseridos os mestres *IO-Link* e a série *TM3* da *Shneider*, devido à sua compatibilidade com ambos. Este modelo da gama Modicon M262 destaca-se tem uma capacidade de processamento otimizada, capaz de executar instruções em 5 nanossegundos, o que o torna extremamente eficiente na gestão de tarefas críticas em tempo real. Equipado com uma alimentação de 24 V DC, que opera dentro de uma faixa de 20,4 a 28,8 VDC, o M262 é robusto e confiável, garantindo operação estável em ambientes industriais adversos.

O M262 inclui múltiplas portas Ethernet, sendo uma 10/100BASE-T e outra 100/1000BASE-T, o que permite a comunicação rápida e eficiente na rede industrial. Além disso, possui portas de comunicação seriais RS232/RS485 e uma porta USB tipo mini B, ampliando as possibilidades de conexão com outros dispositivos e sistemas.

O suporte a protocolos de comunicação como Ethernet/IP, Modbus TCP, e MQTT, entre outros, reforça a sua adequação para aplicações que exigem comunicação avançada e segura. O PLC possui 8 entradas/saídas discretas de alta velocidade (4 entradas e 4 saídas), que são ideais para aplicações que requerem tempos de resposta extremamente rápidos, inferiores a 1 microssegundo. Estas entradas e saídas suportam uma tensão de 24 V DC, com proteção integrada contra sobretensões e curto-circuitos, garantindo a durabilidade e segurança do sistema.

A frequência máxima de saída de 300 kHz e a precisão elevada tornam este controlador ideal para tarefas de posicionamento e controlo de movimento em ambientes industriais. Tem 32 MB de RAM dedicada ao programa, 192 MB de memória do sistema e uma memória flash integrada de 1 GB para backup de programas.

Este armazenamento permite a execução eficiente de programas complexos e a proteção dos dados críticos, com suporte adicional para cartões SDHC de até 32 GB, ampliando as possibilidades de armazenamento de dados e backup. No que se refere à arquitetura de aplicação, este PLC oferece uma estrutura flexível e poderosa, com suporte para 8 tarefas de eventos e até 4 tarefas cíclicas, proporcionando um ambiente de controlo altamente responsivo e adaptável às necessidades da aplicação.

O relógio em tempo real integrado com desvio mínimo, garante a precisão necessária para operações que dependem do tempo, como registos de dados e sincronização de eventos. O M262 consegue operar em condições de temperatura que podem variar de -20°C a 60°C, dependendo da instalação. Possui certificação IP20, de acordo com normas internacionais como IEC 61131-2 e UL 61010.

## 4.9 Dispositivos Para Proteção da Rede Industrial

Parte da proposta para esta dissertação, passa por estudar e conhecer um pouco sobre como pode ser feita a implementação da cibersegurança no contexto industrial. Devido à complexidade da implementação da cibersegurança em toda a fábrica, será apresentado apenas como fazer uma proteção a nível de campo, neste caso, os autômatos.

Após um estudo relativamente a alguns equipamentos que poderiam ser mais indicados para este tipo de função, foi decidido que o router FL MGUARD RS4000 TX/TX VPN da *Phoenix Contact* ou o *Firewall Modicon Networking TCSEFEC23F3F21* da *Schneider Electric*, ambos ilustrados na figura 31, seriam os melhores para desempenhar este papel. Podemos ver as principais características de ambos na tabela 17.



Figura 31 - Router FL MGUARD RS4000 e Modicon Networking TCSEFEC23F3F21.

Tabela 16 - Características dos 2 Routers.

Características	FL MGUARD RS4000 TX/TX VPN	Modicon Networking TCSEFEC23F3F21
Fabricante	Phoenix Contact	Schneider Electric
Função Principal	Router com Firewall e VPN	Firewall Industrial
Número de Portas Ethernet	2 (RJ45)	2 (10/100BASE-TX RJ45)
Velocidade de Transmissão	10/100 Mbps	10/100 Mbps

<b>Capacidade VPN</b>	Até 10 túneis (250 com licença)	Suporte para IPSec
<b>Consumo de Energia</b>	100 mA (24 V DC)	6.9 W
<b>Gestão</b>	Web-based, SNMP, V.24 (RS-232)	Interface integrada
<b>Temperatura Operacional</b>	-20°C a 60°C	-40°C a 70°C
<b>Grau de Proteção</b>	IP20	IP20
<b>Suporte a Redundância</b>	Não especificado	Suporte para redundância de rede
<b>Protocolos Suportados</b>	DHCP, NTP, VPN (IPsec, SSL)	Ethernet TCP/IP, SSH, HTTPS, SNMP
<b>Montagem</b>	Calha DIN	Calha DIN
<b>Certificações</b>	UL, cUL, EMC	CE, UL, RCM, DNV

O FL MGuard é um *router* industrial que funciona como firewall e VPN, proporcionando uma solução robusta para a segurança de redes. Possui duas portas Ethernet (RJ45) que permite conexões de rede mantendo os 10/100 Mbps. Uma das principais características do FL MGuard RS4000 é a sua capacidade de VPN, que permite até 10 túneis de VPN simultâneos, podendo ser expandida até 250 com uma licença adicional. Isto significa que pode criar conexões seguras e encriptadas entre diferentes redes, garantindo que os dados transmitidos estejam protegidos contra acessos não autorizados.

O equipamento é gerido através de uma interface web, SNMP ou via V.24 (RS-232). Esta versatilidade pode, no entanto, tornar a configuração um pouco mais complexa, especialmente se forem necessárias funcionalidades avançadas como múltiplos túneis de VPN.

O Modicon Networking TCSEFEC23F3F21 é uma *firewall* industrial que faz parte da linha *ConneXium* da *Schneider Electric*. Este dispositivo é projetado especificamente para proteger redes Ethernet industriais e possui duas portas Ethernet 10/100BASE-TX.

Tal como o FL MGuard, ele suporta velocidades de transmissão de 10/100 Mbps. Este equipamento destaca-se pelo seu foco na cibersegurança, oferecendo suporte a protocolos como IPSec para criar túneis VPN seguros, além de funcionalidades de filtragem de endereços MAC e suporte a diferentes protocolos de comunicação (SSH, HTTPS, SNMP). Estas funcionalidades ajudam a proteger a rede contra acessos não autorizados, garantindo que apenas dispositivos e utilizadores autorizados possam aceder aos recursos da rede. A interface de gestão integrada facilita a configuração da *firewall*, permitindo que os administradores

definem regras de segurança, monitorem o tráfego de rede e diagnostiquem problemas em tempo real.

O Modicon TCSEFEC23F3F21 também oferece suporte a redundância de rede, o que significa que pode ser integrado em arquiteturas de rede com *failover*, garantindo continuidade de serviço mesmo em caso de falha de um dos componentes da rede.

Este dispositivo opera numa faixa de temperatura ainda mais ampla, de -40°C a 70°C. Tem um consumo de energia de 6,9 W e pode ser facilmente montado em trilhos DIN. Devido ao facto do TCSEFEC23F3F21 ser ligeiramente mais fácil de integrar na rede de automação, vai ser o equipamento escolhido para fazer a proteção dos autómatos presentes nas aquisições. Sendo um produto da *Shneider* acaba também por ter mais compatibilidade com os autómatos e respetivo *software*.

#### 4.10 Protocolo de Comunicação TCP/IP e ETHERNET/IP

Ethernet/IP (Industrial Protocol) e TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) são dois dos protocolos de comunicação mais utilizados na automação industrial e em redes de comunicação em geral. Estes protocolos desempenham um papel crucial na interconexão de dispositivos e sistemas, permitindo a troca de dados de forma eficiente, segura e confiável. Cada um destes protocolos tem características específicas que contribuem para a sua adoção em diferentes contextos, mas juntos formam a espinha dorsal de muitas redes industriais modernas, ilustrado na tabela 18.

Tabela 17 - Pacotes Presentes no Ethernet/IP.

7	Application	Device Profile		CIP
6	Presentation	Explicit/Implicit Message		
5	Session	Connection Management		
4	Transport	UDP	TCP	TCP/IP
3	Network	IP		
2	Data Link	Ethernet MAC		Ethernet
1	Physical	Ethernet Physical		

O TCP/IP é um conjunto de protocolos que existe na comunicação de *Internet* em redes privadas. É composto por duas camadas principais a camada TCP e a IP. O TCP é responsável por garantir que os dados sejam entregues de forma confiável. Ele fragmenta as mensagens em pacotes que são enviados separadamente pela rede. No destino, o TCP reagrupa os pacotes e verifica se todos foram recebidos corretamente. Caso algum pacote falhe, ele é retransmitido. O IP é

responsável pelo roteamento dos pacotes de dados entre dispositivos na rede. Ele atribui endereços IP únicos a cada dispositivo, permitindo que os pacotes sejam direcionados corretamente. O TCP/IP funciona de forma hierárquica, o IP é responsável pelo transporte dos pacotes e o TCP garante a integridade da comunicação. Este modelo é extremamente flexível e escalável, suportando desde redes locais até uma vasta rede que percorre a fábrica. Isto torna o protocolo confiável para transmissões críticas, como aquelas necessárias nos sistemas industriais. É o protocolo mais amplamente suportado no mundo, o que garante que dispositivos de diferentes fabricantes possam comunicar-se sem problemas. Isto é particularmente importante em ambientes industriais, onde a interoperabilidade entre sistemas de diferentes fornecedores é muitas vezes necessária. Sendo o protocolo base da Internet, o TCP/IP é extremamente bem suportado e documentado.

O Ethernet/IP é um protocolo de rede que se baseia na infraestrutura Ethernet padrão, utilizando o TCP/IP para permitir a comunicação entre dispositivos em redes industriais. Ele foi desenvolvido pela *Rockwell Automation* e pela *ControlNet International* e é amplamente utilizado em sistemas de automação industrial, como em PLCs, sensores e atuadores. Este protocolo segue o modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) e opera nas camadas de aplicação, transporte e rede. Uma das maiores vantagens do Ethernet/IP é que ele se baseia na infraestrutura Ethernet já estabelecida, o que facilita a sua implementação. Não há necessidade de criar redes dedicadas ou especiais, o que reduz custos e complexidade. O protocolo é projetado para suportar comunicação em tempo real, o que é crucial em ambientes industriais onde atrasos não são admissíveis. Ele utiliza mecanismos como o "*Cyclic Messaging*" e o "*Real Time Ethernet*" para garantir que os dados sejam entregues a tempo. Assim como o TCP/IP, o Ethernet/IP é altamente escalável. Pode também ser utilizado em redes pequenas, mas também pode crescer para suportar grandes sistemas industriais distribuídos. Esta escalabilidade torna-o adequado para uma vasta gama de aplicações, desde pequenas linhas de produção até grandes fábricas automatizadas. O Ethernet/IP integra mecanismos de segurança que permitem a proteção de dados sensíveis contra acessos não autorizados. Com o suporte de tecnologias de criptografia e autenticação, o protocolo garante que a comunicação seja segura, mesmo em redes industriais expostas. Oferece ferramentas avançadas de diagnóstico e monitorização que permitem aos operadores de rede identificarem e resolver problemas rapidamente. Isso inclui a monitorização do estado da rede e a capacidade de realizar testes de conectividade e desempenho em tempo real. Suporta configurações de rede redundante, o que é essencial em ambientes industriais onde a continuidade do serviço é crítica. Em caso de falha em um caminho de comunicação, a rede pode automaticamente alternar para uma rota alternativa, garantindo que os processos industriais continuem a funcionar sem interrupções.

## 4.11 Arquiteturas Modelo

Neste subcapítulo vão ser apresentadas e descritas as 3 arquiteturas que foram elaboradas para este projeto. Como vão ser usados diferentes equipamentos para cada arquitetura ao nível de controlo e aquisição de dados.

Existem diferentes orçamentos e características para cada arquitetura. Para efeitos comparativos foram elaboradas tabelas para demonstrar as principais diferenças entre cada uma. Todas as arquiteturas contêm na parte superior a *Customer Network* que envolve a interface com sistemas de gestão empresarial e outros serviços administrativos, ao utilizar o protocolo Ethernet TCP/IP. Em baixo desse nível temos o *Operations Level*, este nível contém os HMI *Clients* e HMI *Servers* que são responsáveis por permitir que os operadores monitorem e controlem os processos industriais.

Os dispositivos neste nível estão conectados tanto por Ethernet TCP/IP quanto por Ethernet/IP, fazendo a integração de diferentes protocolos de comunicação para garantir uma operação eficiente. No *Control Level*, estão colocados os PLC que estão conectados aos dispositivos de campo via Ethernet/IP e aos computadores industriais Beckhoff CB8900. Este nível é crítico para o controlo preciso e em tempo real das operações industriais.

No nível mais baixo, relativo ao *Field Level*, vemos os dispositivos de I/O distribuídos, como sensores e *encoders*, que são conectados aos controladores de nível superior. Estes dispositivos são responsáveis pela coleta de dados em tempo real das máquinas e processos, e pela execução de comandos recebidos dos PLCs.

#### **4.11.1 Arquitetura IO-Link**

Como ilustra a figura 33, no *Management Level* temos presente uma firewall que é responsável por proteger a rede industrial contra ciberataques e garantir a segurança e integridade dos dados.

A firewall atua como uma barreira entre a rede interna da instalação industrial e redes externas, como a rede internet corporativa ou uma *cloud*. Assim faz uma filtragem do tráfego de dados, permitindo apenas endereços de IP autorizados. Também ajuda a segregar diferentes segmentos da rede, como está localizada entre a *Customer Network* e os sistemas de controlo e operações. Isso significa que a firewall pode controlar quais dispositivos ou sistemas na *Customer Network* têm permissão para se comunicar com os sistemas de controlo e monitoramento, limitando a exposição da rede industrial a possíveis riscos. A firewall pode incluir funcionalidades de prevenção de *Intrusion Prevention System (IPS)* e deteção de *Intrusion Detection System (IDS)*. Isso permite que haja um controlo do tráfego em tempo real para detetar atividades anormais ou maliciosas, respondendo automaticamente para bloquear ou alertar os administradores sobre possíveis ameaças. Em muitos setores industriais, existem regulamentações e normas que exigem a implementação de medidas de segurança cibernética incluindo o uso de firewalls, como a ISO/IEC 27001 e ISA/IEC 62443.

Os computadores industriais Beckhoff CB8900 presentes nos níveis *Management Level* e *Operations Level* desempenham papéis críticos em diferentes aspectos da automação e gestão industrial.

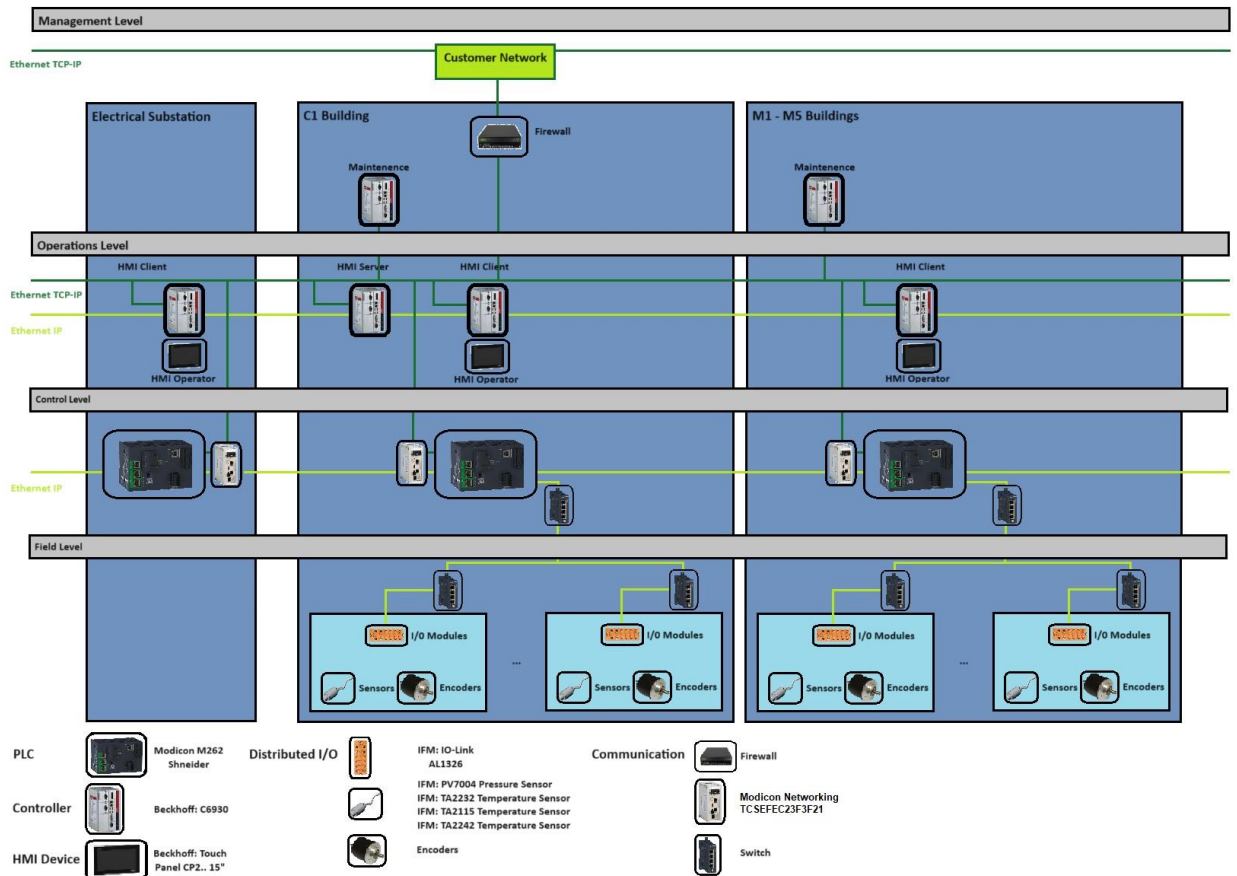


Figura 32 - Arquitetura IO-Link.

No *Management Level*, o Beckhoff CB8900 é utilizado principalmente para tarefas relacionadas à gestão, supervisão e análise de dados, fazendo a conexão do nível operacional com os sistemas de informação corporativos. O CB8900 pode atuar como uma ponte entre as tecnologias de informação e as tecnologias operacionais. Isso significa que ele facilita a comunicação entre os PLCs, sistemas de controle e os sistemas de gestão empresarial. Também pode ser usado para analisar a eficiência operacional, fazendo um banco de dados de várias partes do sistema de automação. Isso inclui os *Key Performance Indicators* e o controle remoto de processos críticos. Eles podem executar aplicativos de análise de dados em tempo real, que ajudam na tomada de decisões estratégicas baseadas em dados operacionais. Isso pode incluir análise de produtividade, eficiência energética, manutenção preditiva, entre outros.

No *Operations Level*, o Beckhoff CB8900 é importante para o controle direto das operações industriais e na interface com os operadores. Neste nível, o CB8900 pode atuar como um controlador central, fazendo a gestão das operações nas máquinas e sistemas automatizados.

Ele pode executar o software de controlo que regula o funcionamento de diversos dispositivos no *Field Level*.

Também pode ser utilizado como uma interface para os operadores visualizarem e interagirem com os sistemas de automação. Ele pode exibir gráficos, painéis de controlo e fornecer acesso a funções críticas para operação e manutenção. O computador processa dados operacionais em tempo real, permitindo ajustes imediatos nos processos de produção para otimizar a eficiência e minimizar desperdícios.

O CB8900 é equipado com processadores de alto desempenho, disco rígido e interfaces de comunicação diversas, o que o possibilita o processamento de grandes volumes de dados, algo essencial para sistemas SCADA. Ele pode executar o software SCADA, com a aplicação Beckhoff TwinCAT, que integra funcionalidades de SCADA com controlo e automação. Alternativamente, ele pode rodar outros softwares SCADA compatíveis com Windows ou Linux, dependendo da necessidade da aplicação. Oferece diversas interfaces de comunicação como *Ethernet*, *EtherCAT*, *Modbus*, *PROFINET*, entre outros, permitindo a conexão com uma ampla gama de dispositivos e controladores localizado no *Control e Field Level*. Essa conectividade é crucial para a coleta de dados usados no sistema SCADA. É projetado para operar em ambientes hostis, onde pode haver poeira, vibração, temperaturas extremas, e outros parâmetros que podiam complicar o funcionamento de outros computadores industriais existentes no mercado. Isso garante que o sistema SCADA permaneça operacional mesmo em condições adversas.

No *Control Level* da arquitetura apresentada na imagem, tem dois equipamentos principais que desempenham papéis fundamentais na automação do sistema. O Modicon M262 atua como o cérebro do sistema de automação. Ele é responsável por executar as operações lógicas que comandam os dispositivos presentes no *Field Level*, como sensores, atuadores, e módulos de I/O distribuídos. Ele está em comunicação direta com os módulos I/O Link presentes na imagem através do protocolo Ethernet/IP.

No contexto desta arquitetura, o Modicon M262 integra-se também com os sistemas HMI no *Operations Level* e também se comunica com outros sistemas através da rede Ethernet, facilitando o controlo centralizado e a automação distribuída.

O Modicon *Networking* TCSEFEC23F3F21 é uma *firewall* responsável por proteger a rede de automação contra acessos. Garante a segurança da comunicação o Modicon M262 e o Beckhoff C6930, de possíveis vulnerabilidades.

No *Field Level* observamos a parte mais próxima dos processos físicos. Neste nível vai ser realizada a aquisição de dados dos equipamentos de campo, como sensores e atuadores e transmitidos para os níveis superiores, onde são processados e usados para tomar decisões.

Os módulos mestre IO Link distribuídos são componentes essenciais para conectar os sensores e atuadores do campo ao sistema de controlo. Eles atuam como intermediários, convertendo os sinais elétricos dos dispositivos de campo em sinais digitais que podem ser processados pelo

PLC ou pelo PC Industrial. Uma das vantagens de usar os módulos IO Link da IFM é que podem lidar com diversos tipos de sinais, como sinais digitais, sinais analógicos e sinais de comunicação serial.

Eles são versáteis e podem ser configurados para suportar diferentes tipos de dispositivos no campo. Os módulos IO Link da IFM que foram implementados nas salas, são os AL1422 e o AL1326. Os AL1422 oferecem a possibilidade de serem ligados em série, assim como demonstra o seu *datasheet*. Embora tenha um custo relativamente maior ao AL1326, compensa usar este mestre porque possibilita que haja uma redução significativa da cablagem e de distribuidores Y. Fazendo com que a arquitetura tenha mais custo-benefício. Seguindo este modelo de arquitetura a sala 1 referente ao processo CDA, precisa de 18 mestres IO Link AL1422, como demonstra a figura 34.

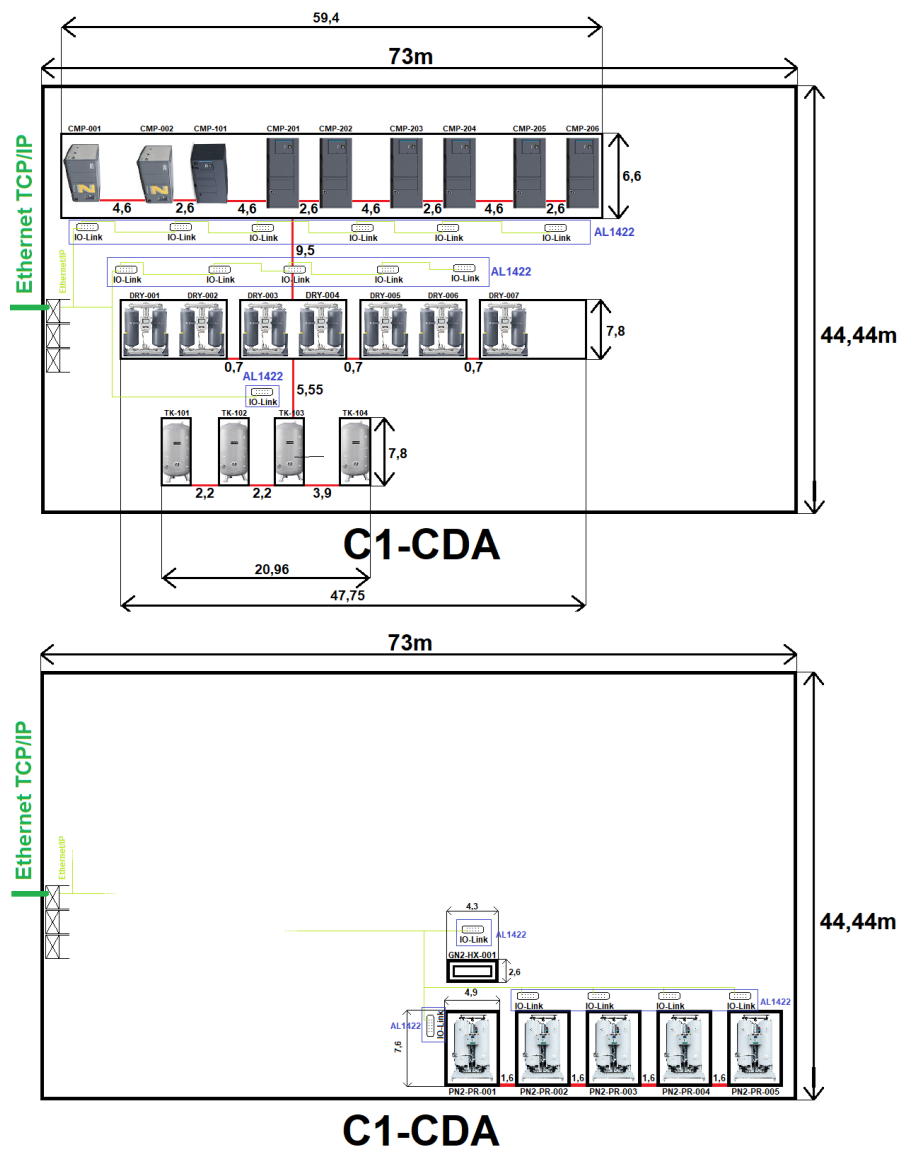


Figura 33 - Distribuição dos Mestres IO-Link (sala 1).

Uma das características a ter em atenção, é relativamente às portas que cada sensor precisa para se comunicar com o módulo. Os sensores em cada sala devem ter todos compatibilidade com IO Link, assim como os já falados nos subcapítulos 4.2.1 e 4.2.2. Caso contrário seria necessário usar um conversor, por exemplo o DP121 da IFM. Como o sensor de pressão PP7554 precisa de uma porta com codificação A para funcionar, assim como descreve o seu *datasheet*. É necessário o uso do mestre IO Link AL1326 que tem 8 portas de entrada que conseguem funcionar tanto como uma porta B ou A. Enquanto o AL1422 só possui 4 entradas A ou 4 entradas B. Como o sensor de pressão PP7554 necessita de uma alimentação adicional que só uma porta A consegue fornecer. O AL1326 é o ideal em certos sítios da sala 2, assim como ilustra a figura 35.

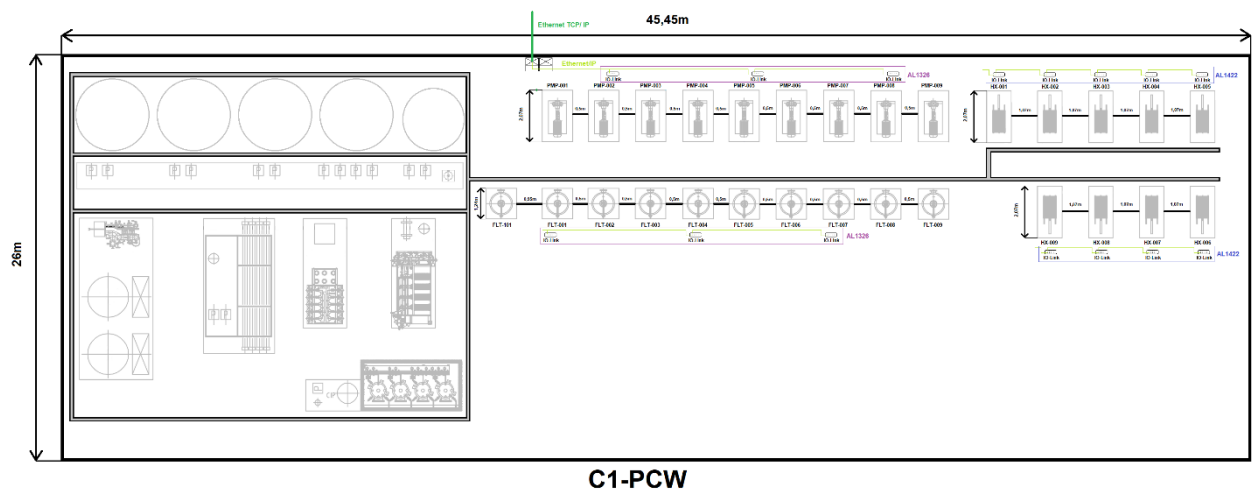


Figura 34 - Distribuição dos Mestres IO-Link (sala 2).

Nesta sala existem 6 mestres IO Link AL1326 e 9 mestres AL1422. Como os AL1326 não conseguem ser ligados em série é necessário fazer uma distribuição da energia através de um distribuidor Y, conforme a figura 36.

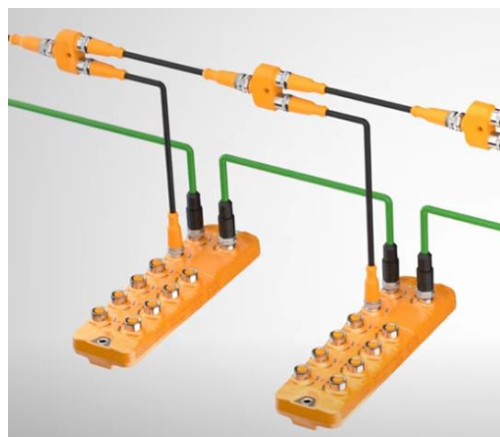


Figura 35 - Alimentação em Série IO-Link Master

A conexão entre os módulos através do cabo *Ethernet* também é feita em série, conforme se pode analisar na imagem. A integração destes módulos facilita bastante a manutenção e a conexão do sistema.

#### 4.11.2 Cabelagens e Equipamentos da Arquitetura IO-Link

Para efeitos de análise foi feito um desenho da planta das salas 1 e 2 no AutoCAD que estarão disponíveis em anexo e posteriormente colocados todos os equipamentos responsáveis pela aquisição de dados. Tendo assim uma percepção de onde estão os equipamentos, de modo a calcular as dimensões da cablagem necessária.

Nas tabelas 19 e 20 podemos observar as dimensões e respetivo custo de cada cabo para a arquitetura nas salas 1 e 2.

Tabela 18 - Dimensionamento da Cablagem para a Sala 1 (IO-Link).

Cabos (sensores) CDA:	Cabos (sensores) GN2:	Cabos (switch to Master) Sala 1:	Cabos (Alimentação Master to Master) Sala 1:	Cabos (Ethernet Master to Master) Sala 1:
1*EVC201 (19m)	4*EVC685 (4m)	5*EVC924 (0.5m)	1*EVCA31 (12m)	1*EVC909 (12m)
1*EVC201 (16m)	4*EVC059 (5m)		4*EVCA30 (10m)	4*EVC908 (10m)
1*EVC190 (15m)	40*EVC189 (10m)		2*EVCA30 (9m)	2*EVC908 (9m)
1*EVC190 (13m)			1*EVCA30 (8m)	1*EVC908 (8m)
4*EVC190 (12m)			4*EVCA30 (7m)	4*EVC908 (7m)
4*EVC190 (11m)			1*EVCA29 (5m)	1*EVC907 (5m)
4*EVC189 (9m)				
2*EVC189 (8m)				
11*EVC362 (7m)				
4*EVC362 (6m)				
7*EVC059 (5m)				
17*EVC685 (4m)				
6*EVC188 (3m)				
11*EVC058 (2m)				

2*EVC057 (1m)				
2 933,70 €	2 088,40 €	89,50 €	1 479,20 €	586,80 €

Tabela 19 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 2 (IO-Link).

Cabos (sensores) CDA:	Cabos (switch to Master) Sala 2:	Cabos (Alimentação Master to Master) Sala 2:	Cabos (Master to switch) Sala 2:	Cabos (Ethernet Master to Master) Sala 2:
4*EVC362 (6m)	4*EVC924 (0.5m)	2*EVCA30 (7m)	1*EVC928 (9m)	2*EVC907 (7m)
2*EVC059 (5m)		1*EVCA30 (6m)	1*EVC936 (3m)	1*EVC907 (6m)
6*EVC685 (4m)		1*EVCA29 (5m)		1*EVC907 (5m)
36*EVC188 (3m)		7*EVCA29 (3m)		7*EVC907 (3m)
30*EVC058 (2m)				
18*EVC057 (1m)				
5*EVC200 (0.5m)				
3 281,70 €	71,60 €	1 053,90 €	90,60 €	427,90 €

Isto totaliza um custo total de cablagem de 12 103,301€. Como os IO-Links necessitam de cabos com conexão M12 com determinadas características para fazer a transmissão de dados entre módulo-sensor e módulo-PLC. Faz com que esta arquitetura seja mais cara ao nível da cablagem necessária.

Todos os equipamentos que são necessários nas salas 1 e 2 estão presentes na tabela 21 e 22, que reúne as informações relativas à identificação dos equipamentos e custos associados aos mesmos. Diferente das outras arquiteturas, aqui temos de usar sensores compatíveis com a comunicação IO Link. O que também vai tornar esta arquitetura um pouco mais dispendiosa relativamente às outras. Assim como demonstra as tabelas 23 e 24.

Tabela 20 - Equipamentos presentes na sala 1 (IO-Link).

Equipamentos de Comunicação sala 1 CDA e GN2					
ID do Equipamento	Fontes de Alimentação	Ethernet Switch	I/O Block	Autómato	Firewall
E84036	1	-	-	-	-
DN4034	2	-	-	-	-
DN4012	2	-	-	-	-
MCSESU053FN0	-	5	-	-	-
AL1422	-	-	16	-	-
AL1324	-	-	2	-	-
M262	-	-	-	1	-
TCSEFEC23F3F21	-	-	-	-	1
Preço	1 702,90 €	728,75 €	8 333,60 €	1 014,53€	1 501,00€

Tabela 21 - Equipamentos Disponíveis na Sala 2 (IO-Link).

Equipamentos de Comunicação sala 2 PCW					
ID do Equipamento	Fontes de Alimentação	Ethernet Switch	I/O Bus Coupler	Autómato	Firewall
DN4034	4	-	-	-	-
MCSESU053FN0	-	5	-	-	-
AL1422	-	-	9	-	-
AL1326	-	-	5	-	-
AL1324	-	-	1	-	-
M262	-	-	-	1	-
TCSEFEC23F3F21	-	-	-	-	1
Preço	1 539,60 €	728,75 €	6 610,10 €	1 014,53 €	1501,00€

Tabela 22 - Sensores Disponíveis na Sala 1 (IO-Link).

Sensores sala 1 CDA e GN2				
ID do Sensor	Sensor de Pressão	Sensor de Temp. 50mm	Sensor de Temp. 100mm	Sensor de Temp. 150mm
PP7554	60	-	-	-
TA2115	-	30	-	-
TA2232	-	-	11	-
TA2242	-	-	-	7
Preço	14 070,00 €	677,20 €	1 567,28 €	1 014,72 €

Tabela 23 - Sensores Disponíveis na Sala 2 (IO-Link).

Sensores sala 2 PCW		
ID do Sensor	Sensor de Pressão	Sensor de Temp. 100mm
PP7554	75	-
TA2232	-	36
Preço	17 587,50 €	5 129,28 €

Em termos de praticidade, esta arquitetura é a mais simples de instalar. Pois estes módulos podem ser anexados junto dos próprios equipamentos, sem ter a necessidade de fazer uso de cabines. O facto de ter um equipamento capaz de fazer tudo o que é necessário para elaborar um projeto de automação e aquisição de dados, sem ter de comprar equipamentos adicionais facilita muitos aspetos operacionais. Tendo em conta os dados reunidos ao relativamente ao *Field Level*, para fazer a implementação desta arquitetura será necessário cerca de 76 824,041€.

#### 4.11.3 Arquitetura Bus Coupler

A segunda arquitetura é igual à anterior na parte do *Management Level*, *Operations Level* e *Control Level*. As únicas mudanças estão presentes no *Field Level*, assim como ilustra a figura 37.

Neste nível, temos algumas diferenças nos sensores de pressão e temperatura e nos módulos de I/O distribuídos responsáveis por fazer a aquisição e emissão dos dados relativos aos sensores. Estas mudanças englobam o *modicon bus coupler*, carta de sinais analógicos e

módulos recetores/emissores. Relativamente aos sensores, na sua generalidade mantêm-se devido às características que são necessárias manter, como comprimento de instalação e faixa de medição.

O único sensor de temperatura que muda é o TA2232 que passa a ser um TA3115. Pois é uma opção menos dispendiosa que mantém as características tirando a comunicação IO Link que não vai ser necessária. O mesmo acontece para o caso do sensor de pressão PP7554 que passa a ser um PT9554. Onde há mais impacto em termos de financeiros é na cablagem, porque não é necessária cablagem tão complexa como na arquitetura anterior.

Claro que isto acarreta numa arquitetura um pouco menos robusta e mais complexa para fazer intervenções de manutenção. Mas para uma solução que requeira mais custo-benefício, esta arquitetura é a mais indicada. O *TM3 Bus Coupler Module* é o equipamento mais importante nesta arquitetura, pois é ele que envia as informações para o autómato, assim como o mestre *IO-Link*. Ele é que possibilita a conectividade dos dispositivos que fazem a aquisição dos dados separadamente, para cada zona presente no *Field Level*.

Os Módulos transmissores e recetores (falados no subcapítulo 4.5.1) facilitam a aquisição dos dados por ilhas, fazendo com que o custo fique mais reduzido relativamente às outras arquiteturas. Assim como os IO Link *master* falados, o *TM3 Bus Coupler* possui a capacidade de hospedar uma interface web acessível através de um navegador de internet. Possibilitando também uma configuração e análise do módulo de forma remota através de uma rede *Ethernet* IP. Além de simplificar a gestão dos dispositivos, o servidor web permite aos operadores verificarem o estado do sistema, o status das comunicações e realizar diagnósticos.

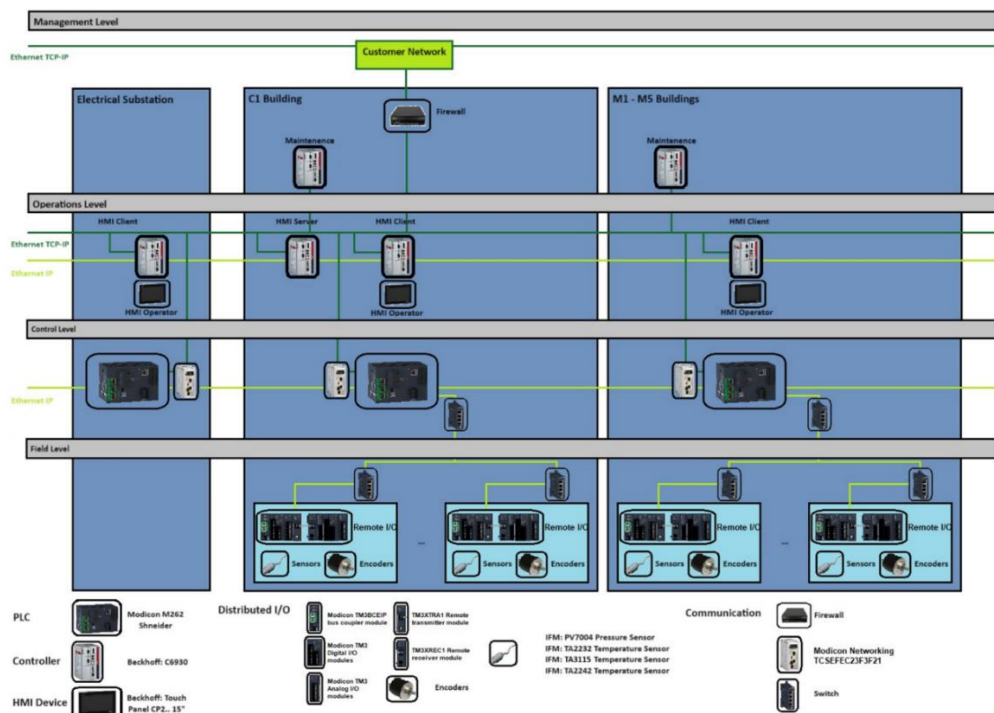


Figura 36 - Arquitetura Bus Coupler.

Diferente dos mestres IO Link, não há necessidade de espalhar tantos módulos ao longo da fábrica. Podemos adicionar várias cartas de entradas analógicas numa só cabine e conectar os respetivos sensores. Isto faz com que haja um melhor aproveitamento do espaço disponível no *Field Level*. Assim também requer menos equipamentos o que faz esta opção ser a mais barata no seu âmbito geral, assim como demonstra as figuras 38 e 39 abaixo.

Para a distribuição dos equipamentos nos desenhos feitos em AutoCAD foi tido em conta a distância máxima dos cabos entre o sensor e as cartas de entradas analógicas que não deve ultrapassar os 20 metros, de modo a manter uma comunicação de dados estável.

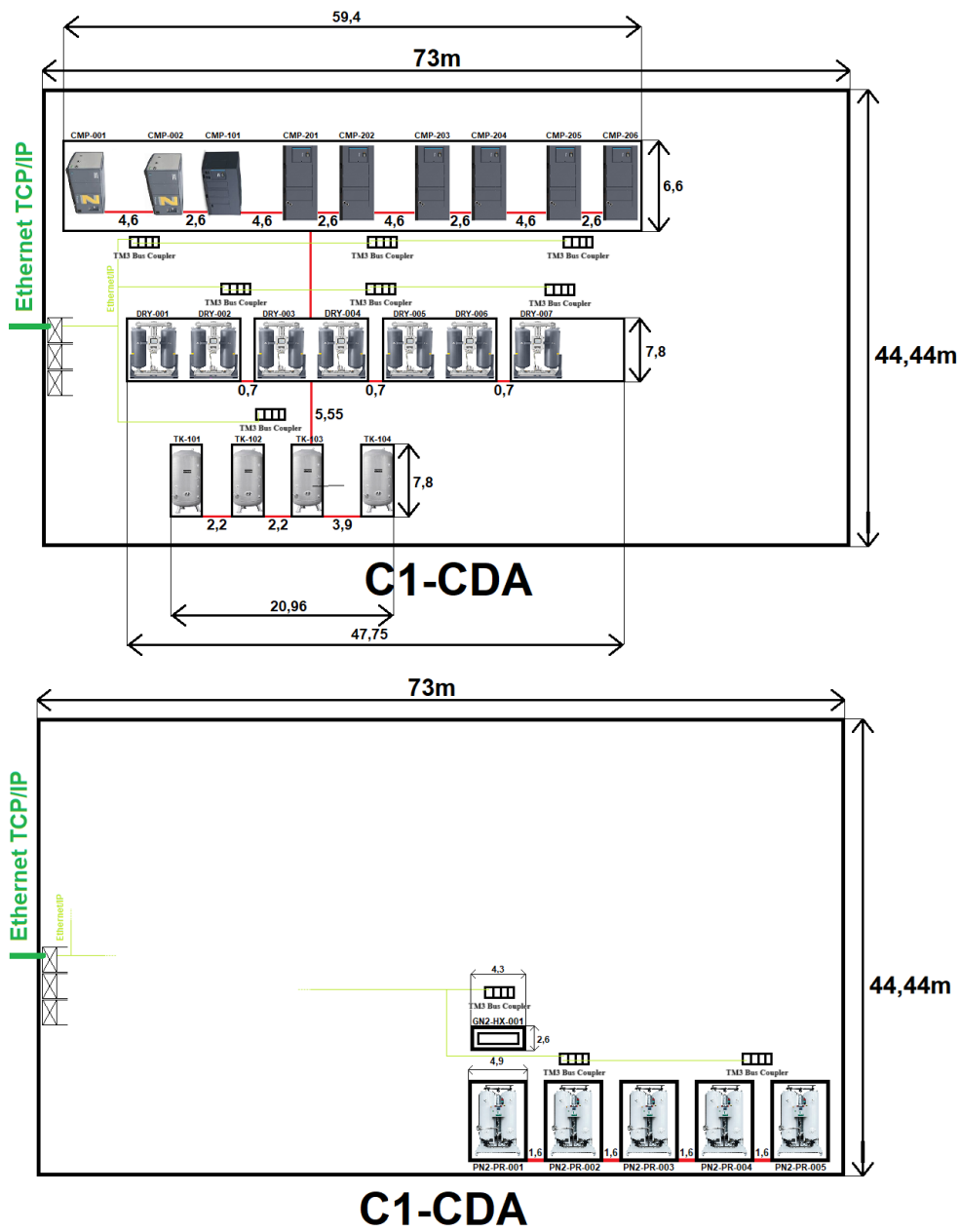


Figura 37 - Distribuição das Ilhas *Bus Coupler* (sala 1).

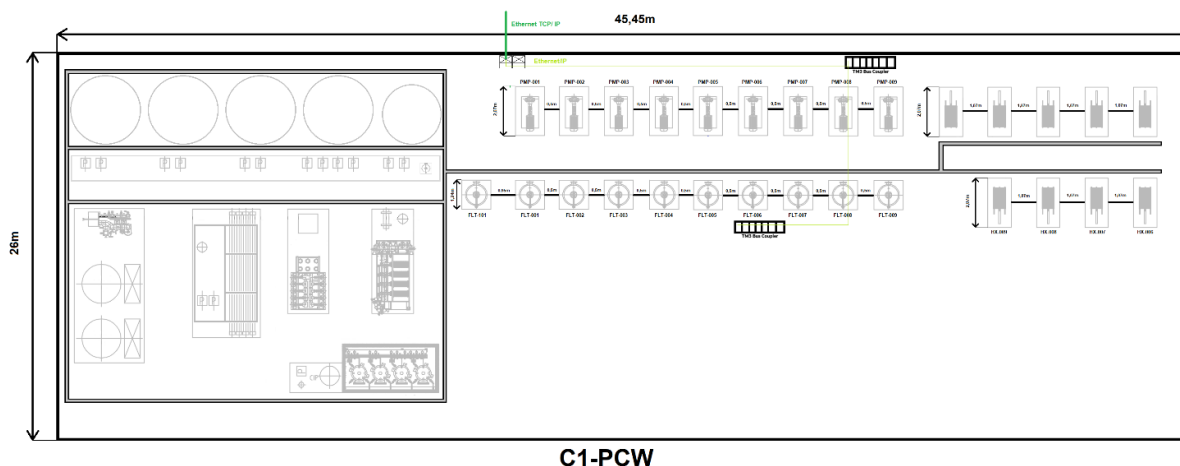


Figura 38 - Distribuição das Ilhas *Bus Coupler* (sala 2).

#### 4.11.4 Cablagem e Equipamentos da Arquitetura *Bus Coupler*

Assim como no subcapítulo 4.11.1 foi elaborado um desenho da planta das salas 1 e 2 no AutoCAD que estão também disponíveis em anexo. Nas tabelas 25 e 26 podemos observar as dimensões e respetivo custo de cada cabo para a arquitetura nas salas 1 e 2. As tabelas 27 e 28 contêm os custos associados à cablagem que irá ser necessária para as 2 salas. Os dados relativos aos equipamentos encontram-se nas tabelas 29 e 30.

Tabela 24 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 1 (*Bus Coupler*).

Cabos (sensores) CDA:	Cabos (sensores) GN2:	Cabos (Switch to TM3 I/O Bus Coupler) Sala 1:	Cabos Ethernet (PLC to I/O Bus Coupler) or Bus Coupler to Bus Coupler	Cabos (transmitter to receiver module) Sala 1:
1*EVC083 (20m)	2*EVC082 (14m)	5*U-CABLE-PATCH-0.3M-RJ45-BL (0,3m)		
2*EVC082 (15m)	2*EVC082 (13m)			
6*EVC082 (13m)	4*EVC082 (12m)			
4*EVC082 (12m)	4*EVC082 (11m)			
7*EVC082 (11m)	4*EVC003 (10m)			
5*EVC003 (10m)	6*EVC003 (9m)		Cabo de Ethernet LCU6-10CC-0305-S (305 m) + 22*MOD PLUG 8P8C-STRANDED/FLAT ROHS	

9*EVC003 (9m)	2*EVC003 (8m)		
4*EVC003 (8m)	6*EVC838 (6m)		
7*EVC208 (7m)	6*EVC002 (5m)		
7*EVC838 (6m)	12*EVC837 (4m)		
8*EVC002 (5m)			
10*EVC002 (4m)			
10*EVC349 (3m)			
4*EVC001 (2m)			
1 844,50 €	1 044,60 €	11,15 €	66,77 €

Tabela 25 - Dimensionamento da Cablagem para a sala 2 (*Bus Coupler*).

Cabos (sensores) PCW:	Cabos (Switch to TM3 I/O Bus Coupler) Sala 1:	Cabos Ethernet (PLC to I/O Bus Coupler) or Bus Coupler to Bus Coupler
2*EVC083 (18m)	2*U-CABLE-PATCH-0.3M- RJ45-BL (0,3m)	
4*EVC083 (17m)		
2*EVC083 (16m)		
11*EVC082 (15m)		
12*EVC082 (14m)		
10*EVC082 (13m)		
8*EVC082 (12m)		
11*EVC082 (11m)		
10*EVC003 (10m)		

6*EVC003 (9m)		Aproveita-se o Cabo de Ethernet LCU6-10CC-0305-S (305 m) da sala 1
8*EVC003 (8m)		
8*EVC208 (7m)		
6*EVC838 (6m)		
7*EVC002 (5m)		
2*EVC837 (4m)		
2*EVC349 (3m)		
1*EVC001 (2m)		
1*EVC471 (1m)		
2 947,72 €	4,46 €	-

Tabela 26 - Equipamentos presentes na sala 1 (Bus Coupler).

ID do Equipamento	Equipamentos de Comunicação sala 1 CDA e GN2							
	Fontes de Alimentação	Ethernet Switch	I/O Bus Coupler	Analog I/O	Remote Transmitter	Remote Reciver	Autómato	Firewall
ABLM1A24012	5	-	-	-	-	-	-	-
ABLM1A24006	5	-	-	-	-	-	-	-
MCSESU053FNO	-	5	-	-	-	-	-	-
TM3BCEIP	-	-	5	-	-	-	-	-
TM3TI8T	-	-	-	18	-	-	-	-
TM3XTRA1	-	-	-	-	5	-	-	-
TM3XREC1	-	-	-	-	-	5	-	-
M262	-	-	-	-	-	-	1	-
TCSEFEC23F3F21	-	-	-	-	-	-	-	1
Preço	1 187€	728,7€	1870€	4932€	490€	490€	1014,53€	1501€

Tabela 27 - Equipamentos presentes na sala 2 (Bus Coupler).

Equipamentos de Comunicação sala 2 PCW						
ID do Equipamento	Fontes de Alimentação	Ethernet Switch	I/O Bus Coupler	Analog I/O	Autómato	Firewall
ABLM1A24025	2	-	-	-	-	-
MCSESU053FN0	-	2	-	-	-	-
TM3BCEIP	-	-	2	-	-	-
TM3TI8T	-	-	-	15	-	-
M262	-	-	-	-	1	-
TCSEFEC23F3F21	-	-	-	-	-	1
Preço	316,80 €	291,50 €	748,00 €	4110,0€	1014,53 €	1501,00 €

Tabela 28 - Sensores Disponíveis na Sala 1 (Bus Coupler).

Sensores sala 1 CDA e GN2				
ID do Sensor	Sensor de Pressão	Sensor de Temp. 50mm	Sensor de Temp. 100mm	Sensor de Temp. 150mm
PT9554	60	-	-	-
TA3115	-	30	-	-
TA2232	-	-	11	-
TA2242	-	-	-	7
Preço	8892,00€	838,50€	1959,10€	1268,40€

Tabela 29 - Sensores Disponíveis na Sala 2 (*Bus Coupler*).

Sensores sala 2 PCW		
ID do Sensor	Sensor de Pressão	Sensor de Temp. 100mm
PT9554	75	-
TA2232	-	36
Preço	11115,00€	6 411,60€

O custo de implementação desta arquitetura fica em torno de 51 556,70€. O que a torna a mais económica das 3 arquiteturas.

Resumindo, o *Field Level* desta arquitetura demonstra uma combinação eficiente por módulos. Não é tão simples de implementar e fazer a manutenção como a arquitetura anterior, mas oferece uma ótima compatibilidade com o PLC. A utilização de módulos de I/O distribuídos permite uma implementação mais econômica e flexível, reduzindo significativamente a necessidade de cablagem extensa e complexa. Além disso, a escalabilidade oferecida por esta arquitetura permite que as instalações cresçam e se adaptem às novas demandas, sem a necessidade de grandes reconfigurações ou investimentos adicionais. A integração eficiente dos sensores, garante a coleta de dados precisa e em tempo real, essencial para a tomada de decisões rápidas ao nível do controlo.

Em suma, o *Field Level* desta arquitetura é uma solução económica e eficiente que equilibra perfeitamente a necessidade de desempenho, flexibilidade e facilidade de expansão, assegurando uma operação contínua e otimizada das instalações industriais.

#### 4.11.5 Arquitetura M340

Na arquitetura M340, ilustrada na figura 40, existe mudanças no *Control Level*. Porque o autómato M262 não tem compatibilidade com os equipamentos usados do *Field Level* nesta arquitetura. Apesar do Modicon M262 ser mais avançado em termos de conectividade e recursos voltados para a Indústria 4.0 e IIoT, o Modicon M340 e os equipamentos presentes no campo oferecem vantagens específicas em certas situações, principalmente em aplicações industriais mais tradicionais.

O M340 é utilizado em ambientes que não exigem a conectividade e os serviços avançados de IIoT oferecidos pelo M262. É ideal para fábricas ou processos de automação que buscam confiabilidade, robustez e simplicidade sem a necessidade de integração de servidores web ou IIoT. Também tem a capacidade de suportar diversas cartas I/O que pode ser muito benéfico se o sistema precisar de ser mais expansível.

Devido a ser um autômato mais tradicional, isto faz com que a arquitetura em questão seja mais simples de implementar. O M340, por ser parte de um catálogo mais robusto e tradicional, precisa lidar com uma série de módulos de comunicação, alimentação, cartas de I/Os que são mais complexos e caros.

Os seus módulos e sistemas são construídos com componentes de alta durabilidade o que também faz com que tanto a produção quanto o preço de venda seja mais elevado. Além disso, o suporte e manutenção prolongada para estes sistemas aumentam o custo total. Devido a terem uma alta durabilidade e confiabilidade, estes equipamentos bastante usados para projetar sistemas SCADA.

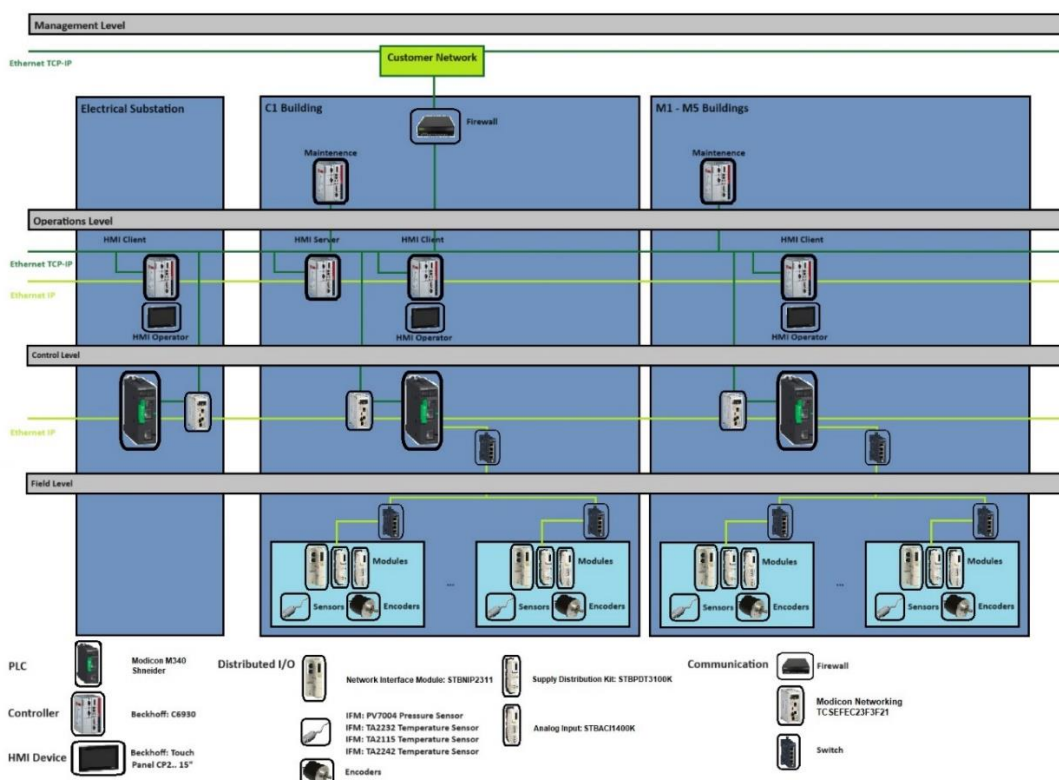


Figura 39 - Arquitetura M340.

No *Field Level* também há mudanças significativas em todos os equipamentos que fazem a aquisição dos dados. Os equipamentos *Network Interface Modicon STBNIP2311*, *Supply Distribution Kit STBPDT3100K* e o *Analog Input STBACI1400K* fazem parte do sistema modular *Advantys STB* da *Schneider Electric*, utilizado para aplicações de automação industrial.

O STBNIP2311 é compatível com o protocolo Ethernet Modbus TCP/IP e possui duas portas Ethernet para facilitar a comunicação em redes industriais. Consegue fazer a atribuição de IP configurável via software de configuração *Avantys* e suporta a redundância de rede com o protocolo *Rapid Spanning Tree Protocol*.

Também permite a troca de dados entre o PLC e dispositivos HMI através de tabelas reservadas configuráveis e facilita a integração de módulos de entrada/saída (I/O) com redes de automação. O STBPDT3100K faz a distribuição de potência padrão de 24 V DC, fornecendo alimentação para módulos de entrada/saída e sensores conectados ao barramento da ilha. O STBACI1400K é o módulo de entradas analógicas com capacidade para 8 canais de corrente, suportando faixas de 0-20 mA e 4-20 mA.

Possui uma resolução de 15 bits + sinal, com precisão de  $\pm 0,4\%$  em toda a escala. Com uma taxa de atualização de dados que ocorre em ciclos de 22 ms, faz com que seja apetecível para os sistemas que necessitem de uma constante atualização em tempo real. Os sensores usados aqui vão ser iguais aos da arquitetura Modicon *Bus Coupler*, pois continuam a ter compatibilidade com as cartas STBACI1400K.

#### 4.11.6 Cablagem Para a Arquitetura M340

A distribuição dos equipamentos de aquisição de dados é exatamente igual ao da arquitetura *Bus Coupler*, pois também dependendo da distância entre sensor e as cartas de entradas analógicas os equipamentos podem ser compactados num só setor. O que significa que em termos de cablagem também será igual. Então para efeitos práticos foi realizada só uma tabela com os equipamentos e os seus respetivos custos usados nesta arquitetura estão presentes nas tabelas 31 e 32. Pois as únicas mudanças são a esse nível.

Tabela 30 - Dimensionamento da Cablagem na sala 1 (M340).

ID do Equipamento	Equipamentos de Comunicação sala 1 CDA e GN2						
	Fontes de Alimentação	Switch	I/O Interface Module	I/O Supply Module	Analog I/O	PLC	Firewall
ABLM1A24006	1	-	-	-	-	-	-
ABLM1A24012	6	-	-	-	-	-	-
ABLS1A24021	3	-	-	-	-	-	-
MCSESU053FN0	-	5	-	-	-	-	-
STVNIP2311	-	-	5	-	-	-	-
STBNIC2212	-	-	5	-	-	-	-
STBPDT3100K	-	-	-	10	-	-	-
STBACI1400K	-	-	-	-	18	-	-
M340	-	-	-	-	-	1	-

<b>TCSEFEC23F3F21</b>	-	-	-	-	-	-	<b>1</b>
<b>Preço</b>	1 260,64 €	728,75 €	5 279,15 €	874,80 €	10929,24€	1560,00€	1501,00€

Tabela 31 - Dimensionamento da Cablagem na sala 2 (M340).

ID do Equipamento	Equipamentos de Comunicação sala 2 PCW					
	Fontes de Alimentação	Ethernet Switch	I/O Bus Coupler	Analog I/O	PLC	Firewall
<b>ABLM1A24025</b>	<b>2</b>	-	-	-	-	-
<b>MCSESU053FN0</b>	-	<b>2</b>	-	-	-	-
<b>TM3BCEIP</b>	-	-	<b>2</b>	-	-	-
<b>TM3TI8T</b>	-	-	-	<b>15</b>	-	-
<b>M340</b>	-	-	-	-	<b>1</b>	-
<b>TCSEFEC23F3F21</b>	-	-	-	-	-	<b>1</b>
<b>Preço</b>	316,80 €	291,50 €	748,00 €	4110,00€	1014,53 €	1501,00 €

Ao utilizar este modelo, a implementação desta arquitetura totaliza um custo de 74 072,051€. O que a torna mais dispendiosa do que a arquitetura *Bus Coupler* e um pouco mais barata que a arquitetura IO Link.

# 5 Conclusão

## 5.1 Considerações Finais

Este capítulo tem como objetivo falar um pouco relativamente aos resultados alcançados durante esta dissertação, ressaltando as contribuições mais significativas para o campo da instrumentação industrial e cibersegurança.

Também ressaltando caminhos futuros para o trabalho. Em geral, as metas estabelecidas inicialmente foram cumpridas com êxito, oferecendo uma compreensão completa das tecnologias de instrumentação e das soluções de cibersegurança que podem ser aplicadas em contextos industriais.

O propósito central deste estudo era explorar e sugerir soluções eficientes para assegurar a coleta e transmissão dos dados para os sistemas de instrumentação/automação industrial. A tese concentrou-se na avaliação de sensores, protocolos de comunicação e ações de cibersegurança, de forma a garantir uma maior eficácia nas operações dos processos.

No âmbito geral do projeto todos os objetivos foram alcançados, foi realizado um enquadramento geral da instrumentação usada na indústria. Foram elaboradas 3 arquiteturas tipo de forma a dar mais poder de escolha a um possível cliente, assim como os custos gerais das mesmas. Em relação à cibersegurança, foram falados também alguns promotores importantes mesmo que de forma superficial.

## 5.2 Contributos

Os resultados desta pesquisa concentram-se principalmente na avaliação das principais tecnologias empregadas na instrumentação industrial e na criação de arquiteturas que incorporam soluções de cibersegurança para assegurar os dados transmitidos/emitidos durante os processos. Os principais contributos passam pela análise detalhada das tecnologias de instrumentação.

Foi elaborada uma pesquisa extensa sobre os sensores mais comuns na indústria. Foram desenvolvidas 3 arquiteturas com alguns aspetos diferentes de modo a atender as comunicações exigidas entre os dispositivos de campo e o servidor central. Foram estudadas maneiras de implementar uma cibersegurança ao nível do *Control Level*, onde foi proposto o uso de sistemas de autenticação baseados em códigos de autenticação de mensagens MACs, que permitem verificar a integridade das mensagens trocadas entre os equipamentos industriais, garantindo maior resiliência contra ciberataques.

## 5.3 Trabalho Futuro

Mesmo com estas importantes contribuições, este estudo ainda tem potencial para ser ampliado em várias direções para aprimorar as soluções e reforçar sua redundância. Algumas propostas para futuras tarefas incluem a implementação de arquiteturas mais robusta ao nível de falhas.

A implementação de sistemas de *failover* e o uso de dispositivos de reserva podem assegurar que, em caso de falha de um componente, o sistema permaneça em funcionamento sem interrupções de grande magnitude. Melhorar a cibersegurança para englobar a arquitetura até ao *Management Level*. Em futuros trabalhos era importante implementar protocolos de comunicação criptografados, como o *Transport Layer Security* (TLS).

Este protocolo, apesar de não ter sido extensivamente abordado neste estudo, pode incrementar consideravelmente a proteção de dados industriais, particularmente em sistemas que usem o protocolo Modbus/TCP.

# Referências

- [1] V. Graveto, T. Cruz, and P. Simoes, "A Network Intrusion Detection System for Building Automation and Control Systems," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 7968–7983, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3238874.
- [2] L. Angrisani, P. Arpaia, A. Esposito, and N. Moccaldi, "A Wearable Brain-Computer Interface Instrument for Augmented Reality-Based Inspection in Industry 4.0," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 4, pp. 1530–1539, Apr. 2020, doi: 10.1109/TIM.2019.2914712.
- [3] P. Ferrari, A. Flammini, E. Sisinni, S. Rinaldi, D. Brandao, and M. S. Rocha, "Delay Estimation of Industrial IoT Applications Based on Messaging Protocols," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 67, no. 9, pp. 2188–2199, Sep. 2018, doi: 10.1109/TIM.2018.2813798.
- [4] J. Dong, L. Jiang, C. Zhang, and K. Peng, "A Novel Quality-Related Incipient Fault Detection Method Based on Canonical Variate Analysis and Kullback-Leibler Divergence for Large-Scale Industrial Processes," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 71, 2022, doi: 10.1109/TIM.2022.3199239.
- [5] C. Perducat, D. C. Mazur, W. Mukai, S. N. Sandler, M. J. Anthony, and J. A. Mills, "Evolution and Trends of Cloud on Industrial OT Networks," *IEEE Open Journal of Industry Applications*, vol. 4, pp. 291–303, 2023, doi: 10.1109/OJIA.2023.3309669.
- [6] A. Saber, F. Di Nunno, A. Neumann, and K. A. Thompson, "Detecting industrial discharges at an advanced water reuse facility using online instrumentation and supervised machine learning binary classification," 2022.
- [7] A. Shimada, "Recent advances and outlook in industrial instrumentation and mechatronics control," *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, vol. 11, pp. S100–S107, Dec. 2016, doi: 10.1002/tee.22341.
- [8] "Training in Actuators, IoT and IP Address for Senior High School Teachers and Students," 2020, doi: 10.26760/rekaelkomika.v1i1.10-23.
- [9] K. Y. Shin, S. H. Suh, and S. W. Choi, "A unified system-framework engine for industrial instrumentation systems," *Int J Comput Integr Manuf*, vol. 30, no. 11, pp. 1127–1151, Nov. 2017, doi: 10.1080/0951192X.2017.1285430.
- [10] P. I. Yakiinov and A. N. lovev, "Development of a Modern Learning Environment for Education in Mechatronics and Industrial Automation," in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., Nov. 2019, pp. 441–444. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.578.
- [11] M. Sverko, T. G. Grbac, and M. Mikuc, "SCADA Systems With Focus on Continuous Manufacturing and Steel Industry: A Survey on Architectures, Standards, Challenges and Industry 5.0," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 109395–109430, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3211288.
- [12] K. Zhang, Z. Li, Z. Meng, W. Zhou, N. Gao, and Z. Zhang, "UHF-HF Integrated RFID Sensor: A Novel Information Interface for Industrial Integration," *IEEE Sens J*, vol. 22, no. 15, pp. 15477–15487, Aug. 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3185998.

- [13] G. Gabor and G. Livint, "Solution for Monitoring and Remote Control Based on Modbus RTU and S7-1200 PLC," in *SIELMEN 2021 - Proceedings of the 11th International Conference on Electromechanical and Energy Systems*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 462–465. doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600411.
- [14] Panepistēmio Kyprou, IEEE Industrial Electronics Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation : September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus*. 2017.
- [15] MIT World Peace University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Pune Section, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon) : MIT World Peace University, Pune, India. Dec 18-20, 2019*. 2019.
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers. Ukraine Section. I & M/CI Joint Societies Chapter and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IDAACS'2017 : proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) : September 21-23, 2017, Bucharest, Romania*. 2017.
- [17] IEEE Staff, *2018 Cybernetics and Informatics (K and I)*. IEEE, 2018.
- [18] J. Stoj, "Cost-Effective Hot-Standby Redundancy with Synchronization Using EtherCAT and Real-Time Ethernet Protocols," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 2035–2047, Oct. 2021, doi: 10.1109/TASE.2020.3031128.
- [19] A. S. Z. Serrano, J. F. L. Altamirano, E. P. P. Panchi, and M. A. P. Panchi, "Development of a 3d virtual environment of the ammonium nitrate granulation process and automatic control using the hardware in the loop technique and integration of the industrial network as-interface," in *Proceedings - 2022 International Conference on Mechanical, Automation and Electrical Engineering, CMAEE 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 92–97. doi: 10.1109/CMAEE58250.2022.00024.
- [20] P. Brooks Rockwell, "Ethernet/IP-Industrial Protocol," 2001. [Online]. Available: <http://www.odva.org>
- [21] M. Gavrilas, Institutul Politehnic din Iași. Faculty of Electrical Engineering, IEEE Romania Section, Institutul Politehnic din Iași. Societății Absolvenților Facultății de Electrotehnică din Iași, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *EPE 2018 : proceedings of the 2018 International Conference and Expositions on Electrical and Power Engineering*. 2018.
- [22] Universitas Mercu Buana, Universitas Mercu Buana Yogyakarta, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Indonesia Section, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2020 2nd International Conference on Broadband Communications, Wireless Sensors and Powering (BCWSP 2020) : Yogyakarta, Indonesia, Jakarta, Indonesia, September 28th-30th, 2020*. 2020.
- [23] K. Vanitha and K. N. Raja Praveen, "An Innovation Development of Neuro Controller for Condition Monitoring and Smart Industrial Instrumentation," in *2nd IEEE International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics, ICDCECE 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/ICDCECE57866.2023.10150892.
- [24] C. Dutta, J. Kumar, T. K. Das, and S. P. Sagar, "Recent Advancements in the Development of Sensors for the Structural Health Monitoring (SHM) at High-Temperature Environment: A Review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 14. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 15904–15916, Jul. 15, 2021. doi: 10.1109/JSEN.2021.3075535.

- [25] Vishwakarma Institute of Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Pune Section, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2020 International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech) : Vishwakarma Institute of Technology, Pune, India, Feb 13-15, 2020*. 2020.
- [26] R. K. Rasel, B. J. Straiton, Q. M. Marashdeh, and F. L. Teixeira, "Flow Loop Study of ECT-Based Volume Fraction Monitoring in Oil-Water Two-Phase Flows," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 71, 2022, doi: 10.1109/TIM.2022.3181929.
- [27] A. C. De Oliveira, S. Pan, R. J. Wiegerink, and K. A. A. Makinwa, "A MEMS Coriolis-Based Mass-Flow-to-Digital Converter for Low Flow Rate Sensing," *IEEE J Solid-State Circuits*, vol. 57, no. 12, pp. 3681–3692, Dec. 2022, doi: 10.1109/JSSC.2022.3210003.
- [28] Y. J. Jeong, Y. E. Kim, K. J. Kim, E. J. Woo, and T. I. Oh, "Multilayered Fabric Pressure Sensor for Real-Time Piezo-Impedance Imaging of Pressure Distribution," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 2, pp. 565–572, Feb. 2020, doi: 10.1109/TIM.2019.2903701.
- [29] M. A. Muñoz Mata and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Applications in Software Engineering : proceedings of the 8th International Conference on Software Process Improvement (CIMPS 2019) : Guadalajara, Jalisco, México, October 23-25, 2019*. 2019.
- [30] M. Almedires and M. Almaiah, "Cybersecurity in Industrial Control System (ICS)," in *2021 International Conference on Information Technology, ICIT 2021 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2021, pp. 640–647. doi: 10.1109/ICIT52682.2021.9491741.
- [31] A. Ocaka, D. O. Briain, S. Davy, and K. Barrett, "Cybersecurity Threats, Vulnerabilities, Mitigation Measures in Industrial Control and Automation Systems: A Technical Review," in *2022 Cyber Research Conference - Ireland, Cyber-RCI 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/Cyber-RCI55324.2022.10032665.
- [32] S. H. Mekala, Z. Baig, A. Anwar, and S. Zeadally, "Cybersecurity for Industrial IoT (IIoT): Threats, countermeasures, challenges and future directions," *Computer Communications*, vol. 208. Elsevier B.V., pp. 294–320, Aug. 01, 2023. doi: 10.1016/j.comcom.2023.06.020.
- [33] S. Sarkar, Y. M. Teo, and E. C. Chang, "A cybersecurity assessment framework for virtual operational technology in power system automation," *Simul Model Pract Theory*, vol. 117, May 2022, doi: 10.1016/j.simpat.2021.102453.
- [34] F. Katulic, D. Sumina, S. Gros, and I. Erceg, "Protecting Modbus/TCP-Based Industrial Automation and Control Systems Using Message Authentication Codes," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 47007–47023, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275443.
- [35] M. Wiboonrat, "Cybersecurity of Industrial Automation and Control System (IACS) Networks in Biomass Power Plants," in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/ISIE51358.2023.10228108.
- [36] T. Sauter and A. Treytl, "IoT-Enabled Sensors in Automation Systems and Their Security Challenges," *IEEE Sens Lett*, vol. 7, no. 12, pp. 1–4, Dec. 2023, doi: 10.1109/LESENS.2023.3332404.



# Anexos

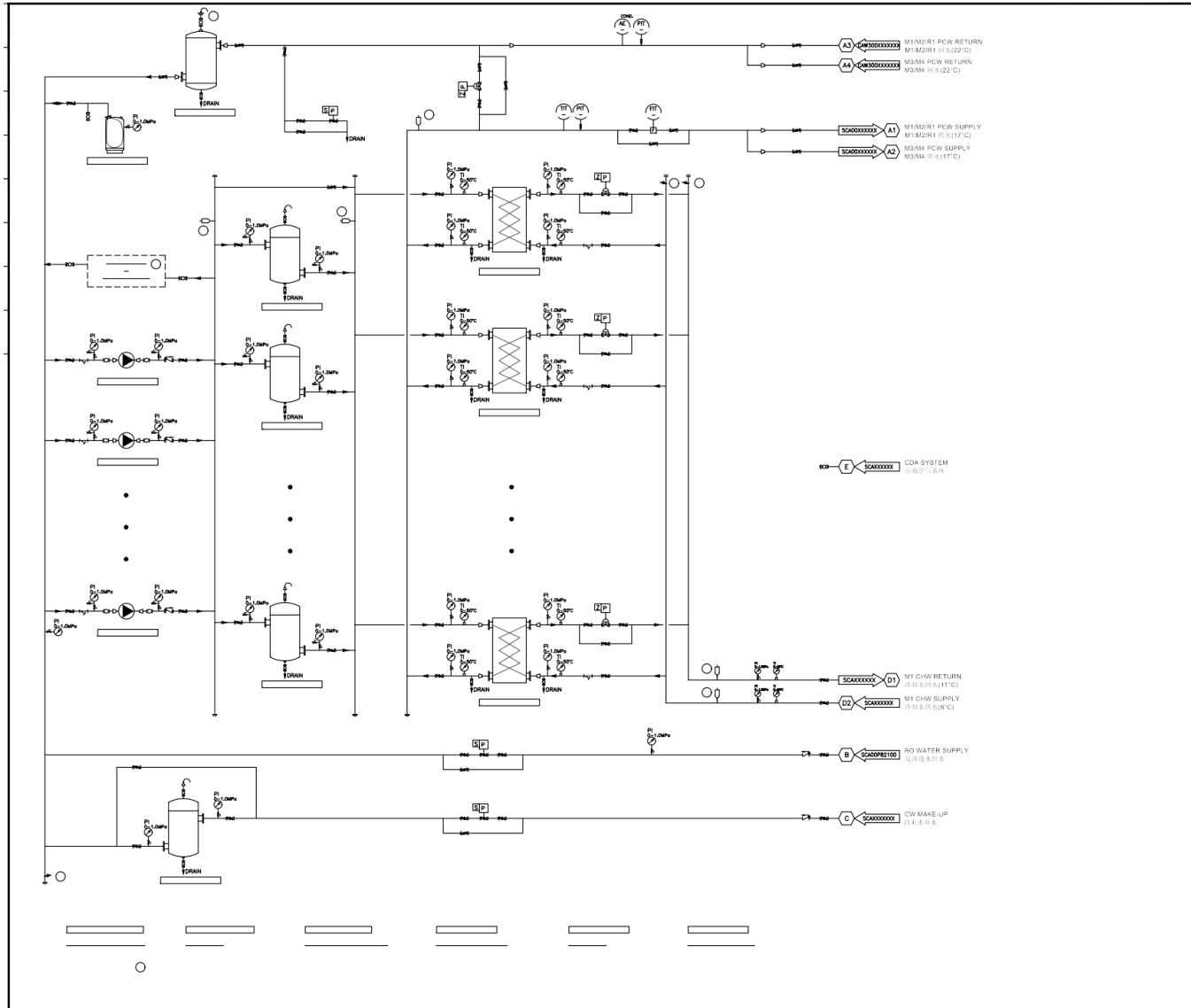


Figura 40 - Anexo A: Processo PCW.



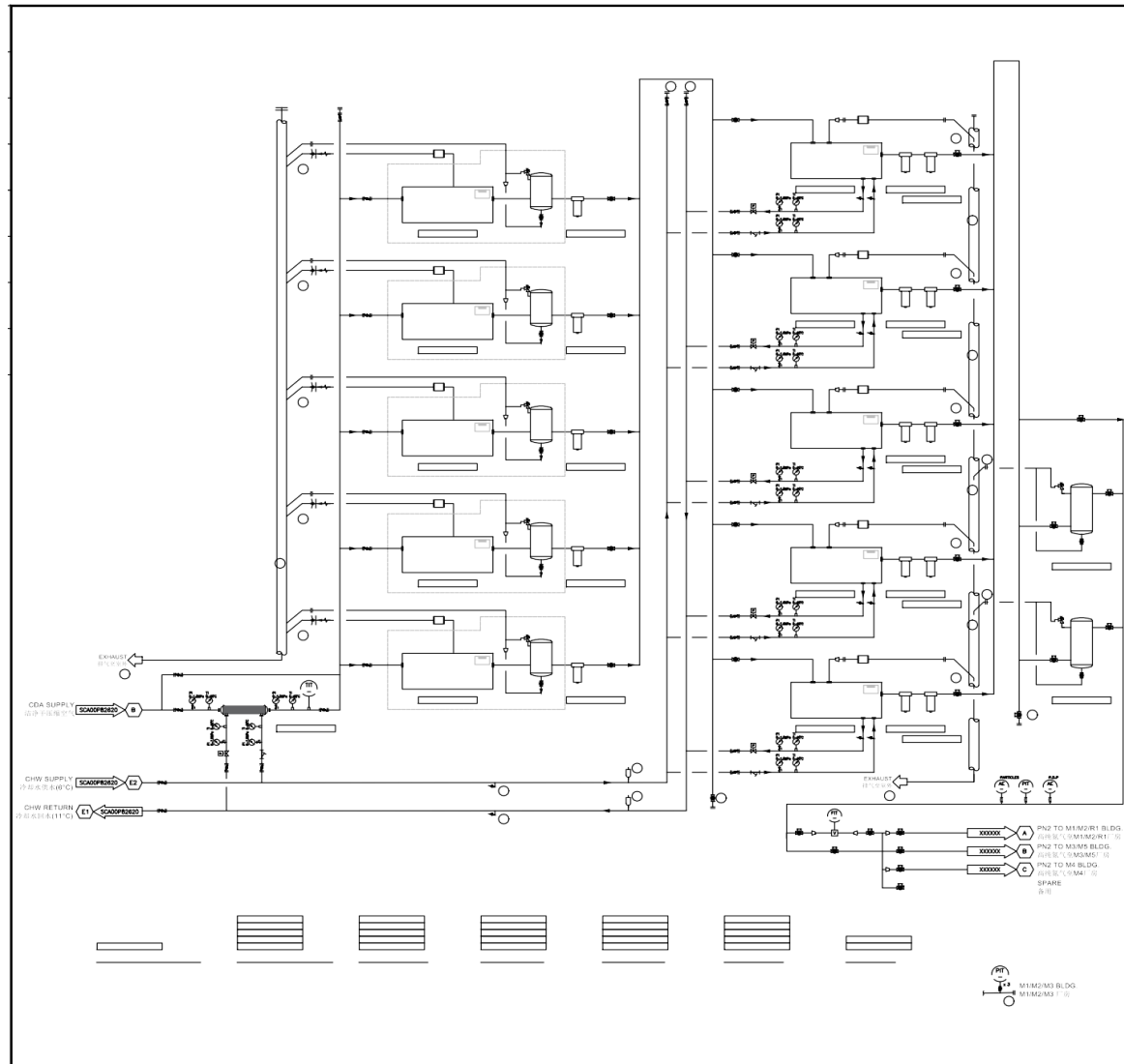


Figura 42 - Anexo C: Processo GN2.

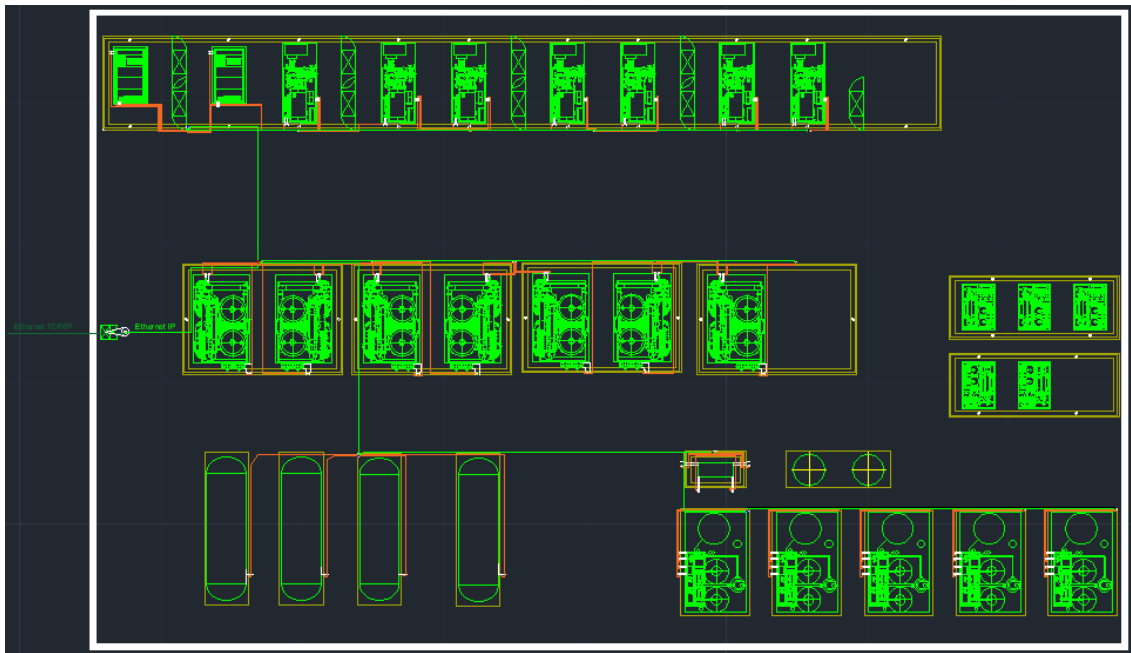


Figura 44 - Anexo D: planta da sala 1 (IO-Link).

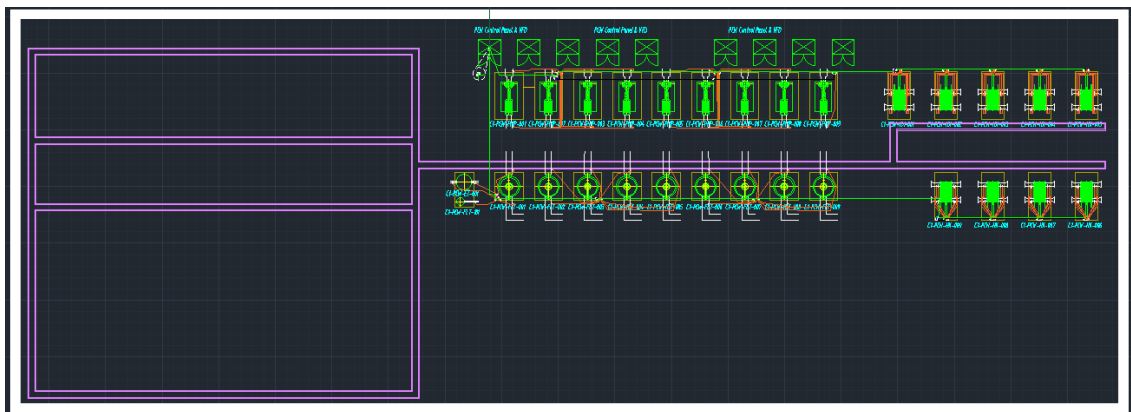


Figura 45 – Anexo E: Planta da Sala 2 (IO-Link).

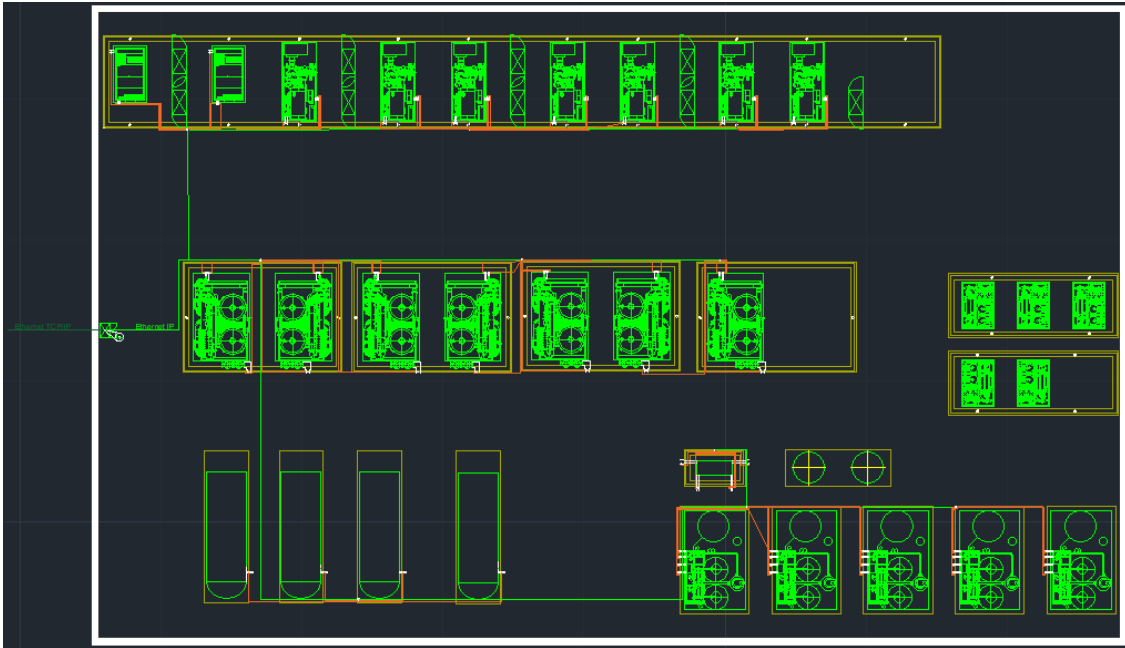


Figura 46 - Anexo F: Sala 1 (Bus Coupler).

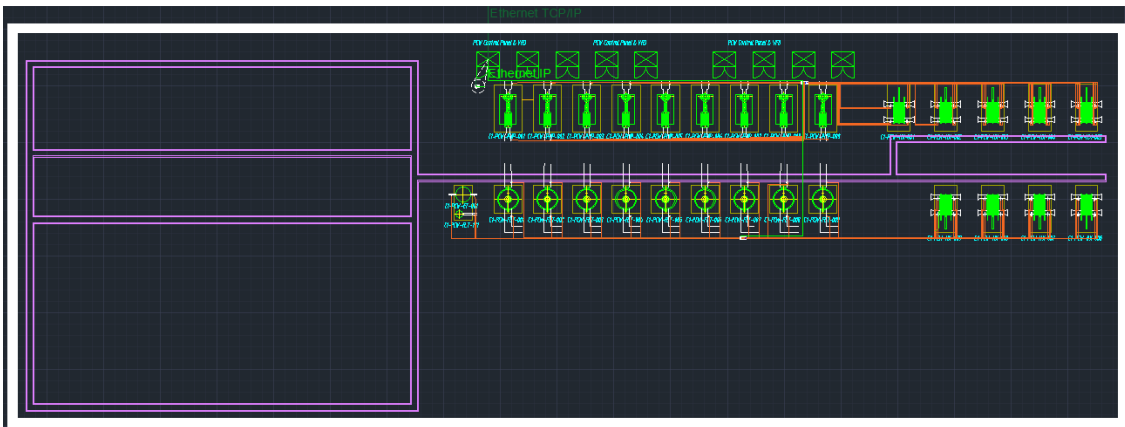


Figura 47- Anexo G: Sala 2 (Bus Coupler).

Abuno Filipe Sousa Santos

ISEP, Porto, 26 de Setembro de 2024

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado

indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plágiei ou apliquei qualquer forma de uso

### DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

### DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE