isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

DEFINITIVO

Desenvolvimento e Teste de Sistemas Industriais na Área Ambiental

Autor

Marcos António Gonçalves Reis

Orientadores

Doutor Victor Daniel Neto dos Santos

Doutor João Paulo Morais Ferreira

Coimbra, setembro, 2020

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

isec
Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

Desenvolvimento e Teste de Sistemas Industriais na Área Ambiental

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais

Autor

Marcos António Gonçalves Reis

Orientadores

Doutor Victor Daniel Neto dos Santos

Doutor João Paulo Morais Ferreira

Supervisor na empresa F. Fonseca S. A.

Engenheiro António Sérgio Moreira Gonçalves

INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

Coimbra, setembro, 2020

AGRADECIMENTOS

Terminada mais uma etapa deste percurso, tenho de agradecer a todos os que me apoiaram e que de alguma forma, marcaram a minha vida. Aos meus pais, que como sempre, não mediram esforços para que eu alcançasse os meus sonhos, por todo o apoio, amor e sacrifício. Ao meu irmão por estar sempre presente, pela motivação e incentivo que me tem dado.

Deixo uma palavra de apreço a todos os professores que me acompanharam ao longo deste trajeto, em especial aos meus orientadores, ao Professor Doutor Victor Santos e ao Professor Doutor João Ferreira pelo apoio, esforço, dedicação, conselhos e paciência durante a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao meu supervisor Engenheiro Sérgio Gonçalves pela paciência, persistência e tempo que dispôs em guiar este trabalho, bem como pelos ensinamentos e companheirismo ao longo deste estágio.

Gostaria de agradecer também à F. Fonseca e a todos os seus colaboradores pela receção que me proporcionaram bem como pelo acompanhamento na realização de todas as atividades que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

A ti Coimbra, obrigada por tudo o que me proporcionaste ao longo destes cinco anos, por todas as experiências, todos os momentos e por todas as amizades.

E falar de Coimbra é falar em ti Vera, obrigada por teres sido o meu porto seguro, por me teres apoiado incondicionalmente e por nunca me deixares desistir dos meus objetivos. Não conseguia sem ti.

Aos meus amigos e companheiros deste percurso pelos momentos partilhados, pelas noites de estudo, pelas amizades sinceras e por toda a ajuda e motivação.

A todos, o meu muito obrigado, sem vocês nada disto seria possível!

RESUMO

Este relatório tem como objetivo descrever as tarefas efetuadas durante o estágio realizado na empresa F. Fonseca S.A., no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, área de especialização de Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, lecionado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, unidade orgânica do Instituto Politécnico de Coimbra.

O estágio realizado proporcionou uma oportunidade de aprofundar alguns conhecimentos e competências adquiridos ao longo do percurso académico, no domínio da engenharia eletrotécnica, para aplicação na área ambiental. De entre as tarefas realizadas neste domínio realço a análise de equipamentos de deteção de gás para proteção pessoal e o tratamento de dados para verificação da qualidade do ar. Para além dessas tarefas tive intervenção na área de automação industrial onde destaco a programação de HMI e a configuração de módulos eletrónicos de entradas/saídas.

A integração numa equipa experiente e disposta a prestar auxílio na realização das tarefas propostas permitiu-me reconhecer diferentes métodos e tecnologias, utilizadas na indústria, o que se revelou uma oportunidade benéfica para o enriquecimento curricular e um meio facilitador para uma futura integração no mercado de trabalho.

Este relatório, possui uma revisão da literatura onde são descritos os princípios teóricos que fundamentam as tecnologias aplicadas neste trabalho. Segue-se um capítulo referente à aplicação desenvolvida – Unidade de Tratamento do Ar (UTA), e por último encontram-se descritas outras atividades efetuadas, nomeadamente a calibração de um equipamento de deteção de gás e uma aplicação desenvolvida em Node-RED.

Palavras-Chave: Sensor de gás; Calibração; Sistemas Industriais; HMI; Módulos de entrada/saída; Modbus; IoT; UTA.

ABSTRACT

This report aims to describe the tasks carried out during the internship at F. Fonseca SA, within the scope of the Master in Electrotechnical Engineering, specialization area of Automation and Communications in Industrial Systems, taught at the Higher Institute of Engineering of Coimbra, organic unit of the Polytechnic Institute of Coimbra.

The internship provided an opportunity to deepen some knowledge and skills acquired along the academic path, in the field of electrotechnical engineering, for application in the environmental area. Among the tasks carried out in this area, I highlight an analysis of gas detection equipment for personal protection and data processing to check air quality. In addition to these tasks, intervention in the industrial automation area where I highlight the programming of HMI's and the configuration of electronic input / output modules.

The integration in an experienced team and willingness to assist on the accomplishment of the tasks accomplished, allowed me to recognize different methods and technologies used in the industry, which proved to be a beneficial opportunity for curriculum enrichment and a facilitating factor for future integration in the labor market.

This report has a literature review where the theoretical principles that support the technologies applied in this work are applied. There follows a chapter related to the application developed – Air Handling Unit (AHU), and lastly, other activities carried out, specifically the calibration of a gas detection equipment and an application developed in Node-RED.

Keywords: Gas sensor; Calibration; Industrial Systems; HMI; I/O Modules; Modbus; IoT; UTA.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO ... 1
1.1 Empresa de Acolhimento ... 1
1.1.1 Caracterização ... 1
1.1.2 Localização do estágio ... 3
1.2 Objetivos ... 4
1.3 Formações ... 4
1.4 Estrutura do Relatório de Estágio ... 5
2 REVISÃO DA LITERATURA ... 7
2.1 Sensores de Temperatura ... 7
2.1.1 Termoresistências ... 7
2.1.2 Termístores ... 10
2.1.3 Termopares ... 12
2.1.4 Transmissores de temperatura ... 13
2.2 Sensores de Gás ... 14
2.2.1 Classificação dos gases ... 15
2.2.2 Princípios de funcionamento de sensores de gás ... 17
2.2.3 Comparação entre sensores de gás ... 22
2.3 Calibração e Verificação de Detetores de Gases ... 23
2.4 *Human Machine Interface (HMI)* ... 23
2.5 *Internet of Things* (IoT) ... 24
2.6 Indústria 4.0 ... 25
2.7 Conclusão do Capítulo ... 26
3. SISTEMAS INDUSTRIAIS E COMUNICAÇÕES ... 27
3.1 Equipamentos Utilizados ... 27
3.1.1 Consola cMT-SVR-100 da *Weintek* ... 27
3.1.2 Módulos de I/O da *Advantech* ... 29
3.2 Comunicações ... 35
3.2.1 Modbus ... 35
3.3 Conclusão do Capítulo ... 40
4 APLICAÇÃO DESENVOLVIDA – SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO ... 41
4.1 Arquitetura da Rede de Comunicações ... 41

4.2 Unidade de Tratamento de Ar ... 42
4.2.1 Função dos componentes de uma UTA ... 42
4.2.2 Caracterização da UTA – F. Fonseca ... 46
4.3 Configuração de um Módulo *Advantech* – WISE-4012 ... 47
4.4 Estrutura da Aplicação ... 50
4.5 *Design* da Aplicação ... 50
4.6 Resumo da Aplicação ... 51
4.7 Conclusão do Capítulo ... 55
5 OUTRAS ATIVIDADES ... 57
5.1 Equipamentos de Deteção de Gases ... 57
5.1.1 Ventis MX4 ... 58
5.1.2 Procedimentos da análise de um equipamento de deteção de gás ... 59
5.2 Aplicação da Termometria ... 60
5.2.1 *Node-RED* ... 60
5.2.2 Alteração realizadas ... 61
5.3 Conclusão do Capítulo ... 63
6 CONCLUSÃO ... 65
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Logótipo da empresa F. Fonseca [3]**.** 2
Figura 2 – Exemplo de algumas marcas comercializadas pela F. Fonseca. 2
Figura 3 – Vista aérea da empresa F. Fonseca. 3
Figura 4 – Variação da resistência com a temperatura para alguns metais. Adaptado de [6]**.** 8
Figura 5 – Curva padrão de um termístor do tipo PTC [8]**.** 11
Figura 6 – Curva padrão de um termístor do tipo NTC. Adaptado de [10] 12
Figura 7 – Representação da junção de dois materiais de um termopar [4]**.** 12
Figura 8 – Gráfico da tensão de Seebeck em função da temperatura para diversos tipos de termopares [4]**.** 13
Figura 9 – Valores estipulados dos alarmes para os níveis de Oxigénio. Adaptado de [16]**.** 15
Figura 10 – Representação dos limites de explosividade. Adaptado de [18]**.** 16
Figura 11 – Constituição de um sensor eletroquímico para deteção de gás [21]**.** 18
Figura 12 – Circuito da ponte de Wheatstone para sensores catalíticos [22]**.** 19
Figura 13 – Constituição de um sensor de gás combustível [22]**.** 19
Figura 14 – Representação da constituição de um sensor semicondutor [19]**.** 21
Figura 15 – Absorvância em função do comprimento de onda para diferentes gases [25]**.** 22
Figura 16 – Revolução de HMI [28]**.** 24
Figura 17 – HMI da Weintek - cMT-SVR-100 [34]**.** 27
Figura 18 – Modo básico de operação para função P2P [37]**.** 30
Figura 19 – Modo avançado de operação para função P2P [38]**.** 30
Figura 20 – Função GCL [39]**.** 31
Figura 21 – Módulo ADAM-6060 da Advantech [40]**.** 31
Figura 22 – RESTful Web Service [41]**.** 32
Figura 23 – Módulos da série WISE-4000 da Advantech: 33
Figura 24 – Tipos de memória Modbus [48]**.** 36
Figura 25 – Comunicação entre cliente-servidor sem erro [48]**.** 36
Figura 26 – Comunicação entre cliente-servidor com erro [48]**.** 37
Figura 27 – Modo unicast [51]**.** 38
Figura 28 – Modo broadcast [51]**.** 38
Figura 29 – Modbus PDU [47]**.** 39
Figura 30 – Formato de uma frame no Modbus RTU [47]**.** 39
Figura 31 – Formato de uma frame no Modbus ASCII [47]**.** 39
Figura 32 – Formato de uma frame Modbus TCP [47]**.** 39
Figura 33 – Esquema de ligação dos equipamentos utilizados na aplicação desenvolvida. 41
Figura 34 – Principais constituintes de uma UTA. Adaptado de [53]**.** 42
Figura 35 – Exemplo de um ventilador centrífugo (transmissão direta) (esquerda) [58] **e ventilador axial (transmissão através de correia) (direita)** [59]**.** 44
Figura 36 – Recuperador de calor [54]**.** 45
Figura 37 – Visualização dos módulos da Advantech ligados à rede usando o software AdamApax .NET Utility. 47
Figura 38 – Parâmetros do módulo da Jumo necessários para configurar o WISE-4012. 48

Figura 39 – Parâmetros de configuração de duas entradas do WISE-4012: a) teor de CO_2 (ppm) e b) valor de temperatura (°C). 48
Figura 40 – Endereços de configuração Modbus do WISE-4012 - AdamApax .NET Utility. 49
Figura 41 – Valores das entradas do WISE-4012 usando o software AdamApax .NET Utility. . 49
Figura 42 – Organização dos ecrãs da aplicação desenvolvida. 50
Figura 43 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente à sala do servidor. 51
Figura 44 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente ao departamento comercial. 52
Figura 45 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente à UTA. 53
Figura 46 – Ecrã da aplicação desenvolvida refente à UTA (com parâmetros definidos). 53
Figura 47 – Pop-up para alteração do valor do aquecimento do ar no modo manual para a aplicação desenvolvida. 54
Figura 48 – Ecrã da aplicação desenvolvida com uma tabela dos alarmes ocorridos. 54
Figura 49 – Ecrã da aplicação desenvolvida para definir os alarmes para o departamento comercial. 55
Figura 50 – Ventis MX4 difusão (esquerda) [61] **e Ventis MX4 aspiração (direita)** [62]**.** 58
Figura 51 – Docking Station da Industrial Scientific [63]**.** 59
Figura 52 – Editor Node -RED [64]**.** 60
Figura 53 – Tabela da página web da aplicação para laboratório de termometria (antes das alterações). 61
Figura 54 – Editor Node -RED utilizado para aplicação da termometria. 62
Figura 55 – Exemplo de um nó programado em JavaScript para aplicação da termometria. 62
Figura 56 – Tabela da página web da aplicação para laboratório de termometria (depois das alterações). 63
Figura 57 – Dados estatísticos e gráfico de encomendas da página web da aplicação para laboratório de termometria. 63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Formações frequentadas pelo estagiário como formando na empresa. 4
Tabela 2 – Tópicos abordados nas formações frequentadas como formando na empresa. 5
Tabela 3 – Tolerâncias conforme a norma IEC 60751 para o Pt 100 [5]**.** 9
Tabela 4 – Principais pares metálicos utilizados em termopares e a tensão média gerada por cada par [4]**.** 13
Tabela 5 – Limites de explosividade de diferentes gases [17]**.** 16
Tabela 6 – Valores de Condutividade Térmica para diferentes gases [23]**.** 20
Tabela 7 – Vantagens e desvantagens de cada tipo de sensor de gás [19]**.** 22
Tabela 8 – Especificações das entradas/saídas do ADAM-6060 [37]**.** 31
Tabela 9 – Especificação das entradas/saídas do WISE-4010/LAN [41]**.** 34
Tabela 10 – Especificações das entradas/saídas do WISE-4012 [41]**.** 34
Tabela 11 – Especificações do sensor de temperatura e do sensor de humidade do WISE-4220 [45]**.** 35
Tabela 12 – Tabela resumo com os códigos da função e respetiva finalidade [49]**.** 36
Tabela 13 – Classificação das baterias de aquecimento e arrefecimento [54]**.** 43

ABREVIATURAS

APCER – Associação Portuguesa de CERtificação

API – *Application Programming Interface*

ASCII – *American Standard Code for Information Interface*

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

CENELEC – Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica

CRC – *Cyclic Redundancy Check*

CVD – *Chemical Vapor Deposition*

DC – *Direct Current*

DGERT – Direção-Geral do Emprego e das Relações de Trabalho

EMM – Equipamentos de Medição e Monitorização

GCL – *Graphic Condition Logic*

HEPA – *High Efficiency Particulate Arrestance*

HMI – *Human Machine Interface*

HTML – *HyperText Markup Language*

HTTP – *HyperText Transfer Protocol*

I/O – *Input/Output*

IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação

IBM – *International Business Machines*

IoT – *Internet of Things*

IP – *Internet Protocol*

JSON – *JavaScript Object Notation*

LAN – *Local Area Network*

LEL – *Lower Explosive Limit*

LIE – Limite Inferior de Explosividade

LRC – *Longitudinal Redundancy Check*

LSE – Limite Superior de Explosividade

MAC – *Media Access Control*

MBAP – *Modbus Application Protocol*

MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport*

MSHA – *Mine Safety and Health Administration*

NTC – *Negative Temperature Coefficient*

OSI – *Open System Interconnection*

OT – *Operational Technologies*

P2P – *Peer-to-Peer*

PDU – *Protocol Data Unit*

PID – *Proportional-Integral-Derivative*

PLC – *Programmable Logic Controller*

PME – Pequena e Média Empresa

PTC – *Positive Temperature Coefficient*

RAM – *Random Access Memory*

REST – *Representational State Transfer*

RFID – *Radio Frequency IDentification*

RTC – *Real-Time Clock*

RTD – *Resistive Temperature Detector*

RTU – *Remote Terminal Unit*

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SNMP – *Simple Network Management Protocol*

SNTP – *Simple Network Time Protocol*

SQL – *Structured Query Language*

STEL – *Short Term Exposure Limit*

TCP – *Transmission Control Protocol*

TICs – Tecnologias da Informação e Comunicação

TPM – *Total Productive Maintenance*

TWA – *Time Weighted Average*

URI – *Uniform Resource Identifier*

USB – *Universal Serial Bus*

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VPN – *Virtual Private Network*

XML – *Extensible Markup Language*

SIMBOLOGIA

Br – Bromo

C_2H_6 – Etano

C_5H_{12} – Pentano

CH_4 – Metano

Cl – Cloro

CO – Monóxido de Carbono

CO_2 – Dióxido de Carbono

F – Flúor

H – Hidrogénio

H_2O – Água

H_2S – Ácido Sulfídrico

He – Hélio

I – Iodo

N_2 – Azoto

NH_3 – Amoníaco

O_2 – Oxigénio

ppm – partes por milhão

SO_2 – Dióxido de Enxofre

1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia ocorrida nas últimas décadas, teve como consequência um aumento da concorrência pelo fornecimento de produtos e serviços tecnicamente mais evoluídos que satisfaçam os requisitos dos clientes, que pretendem soluções inovadoras, de forma a adequar os seus processos às exigências do mercado [1]. A F. Fonseca apresenta nesse sentido uma vasta gama de produtos e soluções para diversas áreas, de forma a satisfazer sempre os seus clientes, com o melhor nível de qualidade e ao preço mais reduzido.

Um estágio é sempre uma mais-valia para o aluno e ao ser acolhido numa empresa há a necessidade de se integrar às suas normas e às tarefas ali realizadas. Sendo uma nova realidade, há necessidade de um processo de aprendizagem, por parte do estagiário, em que pode passar pela observação de algumas tarefas quando realizadas por profissionais e de seguida, uma introdução gradual nessas mesmas tarefas. Visto que existem diferentes tarefas e com diferentes níveis de exigência, esta sequência pode levar a um maior ou menor tempo de aprendizagem.

Durante este estágio foram efetuadas diversas atividades, nomeadamente, a calibração de diferentes equipamentos de deteção de gases, o desenvolvimento de uma aplicação para monitorização dos parâmetros da qualidade do ar num determinado espaço, entre outras atividades que foram surgindo no decorrer do estágio.

A qualidade do ar interior assume um papel central na saúde e bem-estar dos seus utentes, uma vez que estes tendem a permanecer mais tempo em espaços fechados, onde as concentrações de poluentes podem ser significativamente superiores às observadas no exterior. O grau de pureza do ar que respiramos, tal como a sua temperatura e nível de humidade, apresentam um papel fundamental na criação de uma atmosfera saudável e produtiva [2].

Cada vez mais se observa a necessidade de supervisionar e controlar os processos industriais e assim torna-se importante monitorizar estes processos remotamente, com o objetivo de reduzir custos de manutenção e ao mesmo tempo acompanhar os vários processos.

1.1 Empresa de Acolhimento

1.1.1 Caracterização

A F. Fonseca, cujo logótipo se encontra representado na Figura 1, foi fundada em 27 de dezembro de 1978 com o objetivo de comercializar diversos tipos de componentes e equipamentos elétricos e eletrónicos, dos melhores fabricantes mundiais, direcionados ao mercado industrial, ambiental e terciário, com o intuito de proporcionar um serviço de alta qualidade e fiabilidade. Com o passar do tempo a empresa foi evoluindo, tornando-se atualmente líder de mercado em alguns segmentos e produtos que comercializa [3].

Figura 1 – Logótipo da empresa F. Fonseca *[3]*.

O crescimento progressivo da sua atividade levou a uma reestruturação da empresa. Atualmente, a estrutura da F. Fonseca é composta por quatro áreas de negócio vocacionadas para os seguintes segmentos:

- automação industrial;
- processo, instrumentação e ambiente;
- tecnologias de edifícios;
- formação profissional.

Com esta nova organização pretendeu-se chegar a quase todos os ramos de atividade económica com uma grande variedade de equipamentos, assim como satisfazer as necessidades dos clientes e incrementar a sua produtividade e rentabilidade. A F. Fonseca tem como missão fornecer serviços e produtos que proporcionem um incremento da qualidade ambiental, facultando às empresas suas clientes a tecnologia adequada a uma correta monitorização e controlo de poluentes.

A empresa comercializa produtos de diferentes marcas vocacionadas para as áreas de intervenção anteriormente mencionadas. Na Figura 2 é possível observar os logótipos de algumas dessas marcas.

Figura 2 – Exemplo de algumas marcas comercializadas pela F. Fonseca.

A empresa conta já com mais de 30 anos de experiência na produção, fornecimento, reparação e promoção de soluções de termometria, adequando assim o seu portfólio aos mais diversos e exigentes requisitos do mercado nesta área [4].

Com o intuito de otimizar a gestão da manutenção e assistência técnica dos seus produtos foi criado o Serviço de Assistência Técnica, o qual proporciona aos seus clientes um serviço completo e de grande qualidade no acompanhamento das reparações, controlo e na segurança de utilização do material adquirido [3].

Refira-se que a empresa está dividida em oito departamentos: Logística; Qualidade; Recursos Humanos e Formação; Comercial; Administrativo e Financeiro; Marketing; Informática e Serviço de Assistência Técnica. O estágio foi desenvolvido neste último departamento.

Para finalizar a caracterização da empresa de acolhimento, refira-se que a F. Fonseca é portadora da certificação PME Excelência, um selo de reputação criado pelo Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação (IAPMEI) para discriminar positivamente o segmento das pequenas e médias empresas com os melhores desempenhos. A empresa possui também a Certificação do Sistema de Garantia da Qualidade de acordo com a norma NP EN ISO 9001:2015, atribuída pela Associação Portuguesa de Certificação (APCER). Refira-se também que a empresa é uma entidade formadora certificada pela Direção Geral do Emprego e das Relações de Trabalho (DGERT), enaltecendo a qualidade, o rigor, a inovação e a diferenciação da oferta formativa aos seus parceiros e clientes [3].

1.1.2 Localização do estágio

O presente estágio foi realizado nas instalações da F. Fonseca, empresa sediada em Aveiro na Rua João Francisco do Casal, sendo possível observar a sua localização na Figura 3.

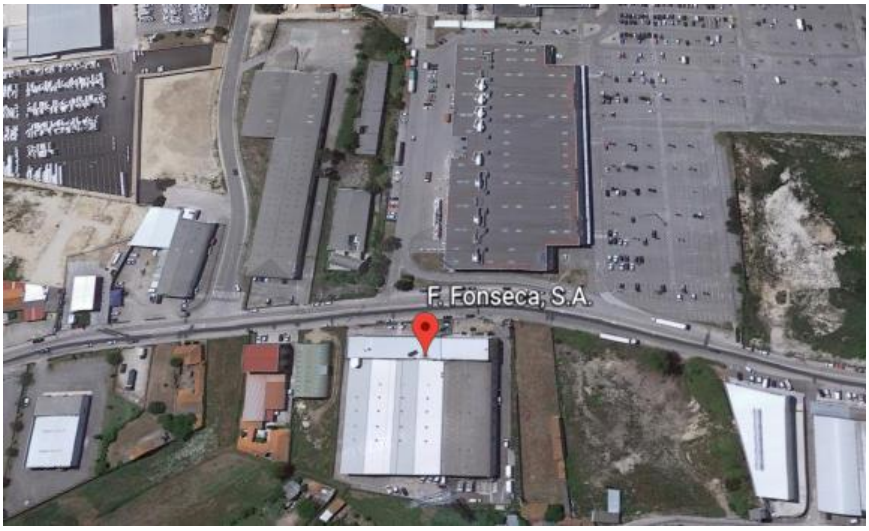


Figura 3 – Vista aérea da empresa F. Fonseca.

1.2 Objetivos

Este estágio, teve como principal objetivo proporcionar ao estagiário um primeiro contacto com o mundo do trabalho, através da participação deste em diversas atividades da empresa, de forma a aplicar e desenvolver alguns conhecimentos e competências adquiridas ao longo do seu percurso académico no ISEC. Este estágio compreendeu a realização de um conjunto de tarefas com vista ao desenvolvimento de soluções proprietárias da F. Fonseca, em cooperação com a equipa de desenvolvimento da empresa.

No início do estágio elencaram-se os seguintes objetivos:

- efetuar uma revisão da literatura;
- integração nas diversas atividades da empresa;
- participação como formando em ações de formação profissional;
- calibrações/manutenções de equipamentos de deteção de gás;
- configurações de módulos de entradas/saídas;
- programação de uma *Human Machine Interface* (HMI).

1.3 Formações

Sendo a F. Fonseca uma entidade formadora, o aluno frequentou algumas das suas formações para adquirir e consolidar conhecimentos em diversas áreas. Na Tabela 1 observam-se as formações frequentadas, assim como o número de horas de cada uma delas.

Tabela 1 – Formações frequentadas pelo estagiário como formando na empresa.

Formações	Nº de horas
Redes de Comunicação Industrial	12
Manutenção de Quadros Elétricos	12
Metrologia I – Gestão de EMM	14
Automação Industrial	24
Total Productive Maintenance (TPM)	16

Nas diferentes formações foram abordados diversos tópicos presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Tópicos abordados nas formações frequentadas como formando na empresa.

Formações	Tópicos
Redes de Comunicação Industrial	Topologia de redes; Vantagens de utilização de redes industriais; Exemplo de algumas redes (Modbus, Profibus DP);
Manutenção de Quadros Elétricos	Normalizações; Análise de temperatura no interior de um quadro elétrico; Índices de proteção; Classes de riscos; Topologias de quadros elétricos;
Metrologia I – Gestão de EMM	Tipos de metrologia; Análise de algumas normas; Análise de certificados de calibração; Principais fontes a considerar nas incertezas em calibrações;
Automação Industrial	Conceitos prévios sobre automatismos industriais; Equipamentos industriais; Sistemas de numeração; Álgebra de *Boole*; Programação de autómatos e interligação com interfaces homem-máquina; Redes de comunicação em ambiente industrial;
Total Productive Maintenance	Enquadramento do TPM no sistema *Lean* de produção; Plano de monitorização: como avaliar a evolução do processo; Tipos de manutenção: preventiva e corretiva; Pilares do TPM; Principais funções individuais e de equipa no TPM; Planos de manutenção autónoma.

1.4 Estrutura do Relatório de Estágio

O presente relatório está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo, de introdução, apresenta a empresa de acolhimento, os objetivos elencados para o estágio, bem como as formações frequentadas pelo estagiário.

No segundo capítulo são abordados os fundamentos teóricos para a elaboração deste trabalho, entre os quais, os sensores de temperatura, classificação dos gases e princípios de funcionamento dos sensores de gás, HMI, *Internet of Things* (IoT) e Indústria 4.0.

No terceiro capítulo encontram-se descritos os equipamentos utilizados, bem como as suas características e especificações, e uma descrição do protocolo de comunicação Modbus usado nas soluções projetadas.

No quarto capítulo está exposta a aplicação desenvolvida durante o período do estágio, parte integrante de um sistema de climatização. Inicialmente é referido a definição de Unidade de Tratamento do Ar (UTA) bem como uma explicação de todos os seus componentes. Posteriormente é apresentada uma configuração de um módulo de entradas/saídas utilizado e um resumo sucinto da aplicação.

No quinto capítulo são descritas algumas atividades realizadas, entre as quais se destacam a calibração de um equipamento de deteção de gás e as alterações efetuadas para a aplicação da termometria.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são descritos os temas de suporte para a realização da escrita deste relatório. Inicialmente abordam-se diversos tipos de sensores de temperatura e sensores de gás, posteriormente são apresentados os conceitos de *Human Machine Interface*, *Internet of Things* e Indústria 4.0.

2.1 Sensores de Temperatura

No setor industrial, assim como na vida quotidiana a temperatura é provavelmente a grandeza física mais medida e controlada, dada a sua importância em inúmeros e variados processos. Assim sendo, a escolha do sensor de temperatura ideal para cada aplicação é uma decisão de extrema importância e deve ser tomada com base em alguns fatores, entre os quais se destacam:

- gama de temperatura do processo;
- número de sensores;
- tempo de resposta;
- temperatura de pico;
- imunidade a vibrações e choques;
- atmosfera de trabalho;
- sensibilidade;
- linearidade.

Os sensores de temperatura são transdutores que convertem a grandeza física (temperatura) num sinal elétrico e podem ser classificados em três tipos principais: termoresistências, termístores e termopares [4].

2.1.1 Termoresistências

As termoresistências, também conhecidas por *Resistive Temperature Detectors* (RTD) são sensores de temperatura constituídos por metais de resistência elétrica com elevado coeficiente de temperatura. O seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do elemento condutor em função da temperatura [5]. Estes sensores metálicos são usualmente de platina tendo em conta a sua estabilidade e linearidade, como é mostrado no gráfico da Figura 4.

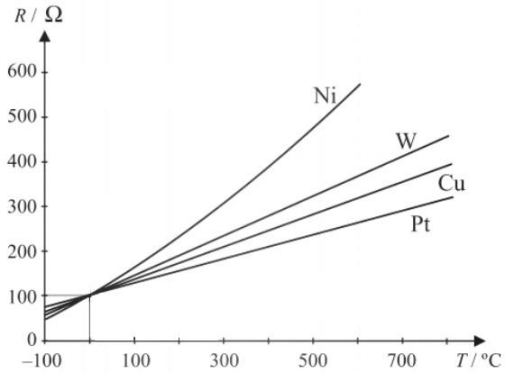


Figura 4 – Variação da resistência com a temperatura para alguns metais. Adaptado de *[6]*.

Normalmente a designação dos sensores é representada pelo material de que são constituídos e pelo valor da sua resistência aos 0 ºC [4]. Alguns exemplos de termoresistências são:

- Pt 100 – RTD de platina com uma resistência de 100 Ω aos 0 °C;
- Pt 1000 – RTD de platina com uma resistência de 1000 Ω aos 0 °C;
- Ni 100 – RTD de níquel com uma resistência de 100 Ω aos 0°C.

Estes sensores são muito utilizados na indústria, pelas suas características, entre as quais se destacam, a alta estabilidade mecânica e térmica, a resistência a contaminações, o baixo índice de desvio pelo envelhecimento e tempo de uso, além de possuírem uma larga faixa de trabalho e permitirem ligações a longa distância. A termoresistência mais utilizada nas diversas aplicações industriais é a Pt-100 [5].

À variação da resistência com a temperatura dá-se o nome de coeficiente de temperatura (α) e é especificado como a média da variação entre 0 e 100 ºC, conforme a equação 1. Estes sensores encontram-se divididos em duas classes de tolerância padrão: classe A e classe B, com desvio mínimo de $\pm$ 0,15 ºC e $\pm$ 0,3 ºC, respetivamente, como é visível na Tabela 3 [5],

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} \quad \textbf{(1)}$$

onde:

R_{100} – resistência a 100 ºC (Ω);

R_0 – resistência a 0 ºC (Ω);

Um valor típico deste parâmetro é $\alpha = 0{,}003851\ \Omega \cdot (\Omega.\text{℃})^{-1}$, para os sensores de platina, de acordo com a norma IEC 60751 (1995) [5], sendo que o valor típico de $R_{100} = 138{,}51\ \Omega$.

Tabela 3 – Tolerâncias conforme a norma IEC 60751 para o Pt 100 *[5]*.

		Classe A		Classe B	
Range ºC	**Ohms**	**Ohms**	**ºC**	**Ohms**	**ºC**
-200	18,52	±0,24	±0,55	±0,56	±1,3
-100	60,26	±0,14	±0,35	±0,32	±0,8
0	100,00	±0,06	±0,15	±0,12	±0,3
100	138,51	±0,13	±0,35	±0,30	±0,8
200	175,86	±0,20	±0,55	±0,48	±1,3
300	212,05	±0,27	±0,75	±0,64	±1,8
400	247,09	±0,33	±0,95	±0,79	±2,3
500	280,98	±0,38	±1,15	±0,93	±2,8
600	313,71	±0,43	±1,35	±1,06	±3,3
700	345,28	-	-	±1,17	±3,8
800	375,70	-	-	±1,28	±4,3
850	390,48	-	-	±1,34	±4,6

A relação entre a resistência e a temperatura de um sensor de RTD de platina é descrita pela equação de *Callendar-Van Dusen*. Para temperaturas inferiores a 0 °C, é utilizada a equação 2, enquanto que para valores superiores a 0 °C a equação é simplificada, como mostra a equação 3 [7],

$$R_T = R_0 \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 \cdot (T - 100)] \quad \textbf{(2)}$$

$$R_T = R_0 \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2] \quad \textbf{(3)}$$

onde:

T – temperatura em graus Celsius (°C);

R_T – resistência à temperatura T (Ω);

R_0 – resistência a 0 °C (Ω);

A, B e C – constantes da equação de *Callendar-Van Dusen*.

Como o sinal de saída destes sensores é em resistência elétrica (Ω) é necessário fazer a sua conversão para um sinal elétrico (tensão) para ser possível realizar a sua leitura e a respetiva conversão para temperatura. O método mais comum é a utilização de uma fonte de corrente

contínua que 'cria' uma tensão aos terminais da RTD proporcional à temperatura, no entanto são introduzidos erros de medição [4]:

erros por auto-aquecimento - a circulação de uma corrente elétrica pela resistência provoca um aumento da temperatura por efeito *Joule*, dando origem a um erro de medição;

erros devido à resistência dos fios - os fios utilizados para a ligação entre a RTD e o equipamento de ligação possuem uma resistência que será acrescentada à resistência da RTD fazendo com que haja um erro na medição. Para minimizar estes erros são utilizados fios de compensação.

As medições podem ser efetuadas com diferentes métodos [4].

- Método de medição a 2 fios (sem compensação)

A resistência dos cabos de ligação gera um erro de leitura, contudo este erro é normalmente desprezável para cabos com comprimento inferior a 2 metros (medida *standard* – secção de 0,22 mm^2). Há alguns equipamentos onde é possível definir a resistência dos fios, assim sendo neste caso, a compensação é feita de forma automática.

- Método de medição a 3 fios (com compensação simples)

É o método mais utilizado na indústria. Este método consiste na adição de um fio que permite determinar com alguma exatidão a resistência dos fios de ligação e a compensação da resistência é feita pelo equipamento de medição minimizando, dessa forma, os erros.

- Método de medição a 4 fios (compensação dupla)

São adicionados dois fios permitindo assim a medição direta nos terminais da RTD (dois fios para injeção de sinal e outros dois para leitura). Esta montagem apresenta maior exatidão para termoresistências, contudo a nível industrial não é muito utilizada, somente nos casos onde as leituras pretendidas são muito exatas. A sua aplicação mais comum é em laboratórios de calibração.

2.1.2 Termístores

Os termístores são dispositivos produzidos a partir de materiais semicondutores, nomeadamente óxidos metálicos e podem ter um coeficiente de temperatura positivo, no caso dos termístores *Positive Temperature Coefficient* (PTC) ou negativo no caso dos termístores *Negative Temperature Coefficient* (NTC). No caso dos PTC a resistência aumenta com a temperatura, já no caso dos NTC é o contrário, ou seja, a resistência diminui com a temperatura. Os termístores têm uma sensibilidade maior que as RTD permitindo assim uma deteção de pequenas variações de temperatura [4]. O termístor NTC é o mais usual na medição da temperatura.

O termístor NTC oferece uma variação da resistência por variação da temperatura significativa, contudo a relação entre a resistência e a temperatura é uma função não linear.

A relação entre a resistência e a temperatura é dada pela equação de *Steinhart-Hart*, conforme a equação 4 [5]:

$$\frac{1}{\mathrm{T}} = \mathrm{a} + \mathrm{b} \cdot \ln(R) + \mathrm{c} \cdot \ln(R)^3 \quad \textbf{(4)}$$

onde:

a, *b* e *c* são os coeficientes da equação *Steinhart–Hart* dependentes do material usado;

R é o valor da resistência (Ω);

T é a temperatura (K).

2.1.2.1 Termístores PTC

Os termístores PTC são sensores que apresentam um coeficiente de temperatura positivo, isto é, a sua resistência aumenta com a temperatura. O coeficiente de temperatura de um PTC é positivo apenas dentro de uma determinada faixa de temperatura, sendo que fora dessa faixa o coeficiente é negativo ou nulo [5], como mostra na Figura 5.

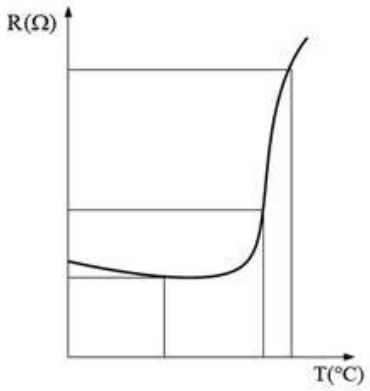


Figura 5 – Curva padrão de um termístor do tipo PTC *[8]*.

Um termístor do tipo PTC pode ser usado em diversas aplicações, como por exemplo, no controlo de temperatura no arranque de motores [5] bem como em circuitos de proteção contra curto-circuito e sobre corrente [9].

2.1.2.2 Termístores NTC

Os termístores NTC são elementos cuja resistência diminui com o aumento da temperatura, Figura 6, apresentando assim um coeficiente de temperatura negativo. As alterações da temperatura podem derivar de diversos fatores, como por exemplo, pela variação da temperatura no seu redor (externamente) ou pelo calor resultante da potência dissipada, que surge da passagem de corrente pelo sensor (internamente), ou pela combinação dos dois fatores mencionados [5].

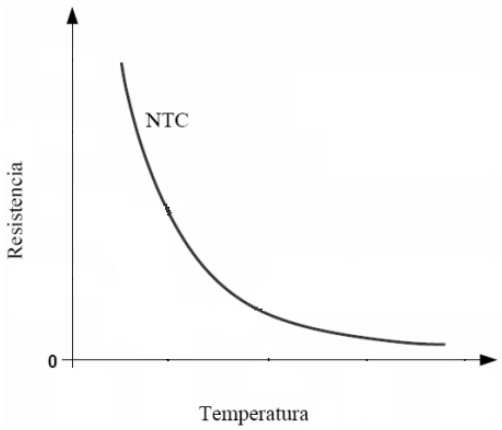


Figura 6 – Curva padrão de um termístor do tipo NTC. Adaptado de *[10]*

Estes sensores são os mais utilizados porque possuem alta sensibilidade e são fáceis de produzir (baixo custo). Os termístores NTC para medição de temperatura são usados para uma grande variedade de aplicações, entre as quais: em eletrodomésticos, eletrónica automóvel e industrial, em aquecimento e ar condicionado bem como em telecomunicações [11].

2.1.3 Termopares

Os termopares, também designados por sensores termoelétricos, baseiam o seu princípio de funcionamento no efeito *Seebeck*. Estes sensores de temperatura são formados pela junção de dois materiais metálicos diferentes soldados numa das suas extremidades, como representado na Figura 7. Esta junção cria uma tensão proporcional à diferença de temperatura entre os terminais e a junção, a qual se dá o nome de tensão de *Seebeck* [4]. Este tipo de sensor é considerado ativo pois gera a sua própria força eletromotriz, não sendo necessário alimentá-lo.

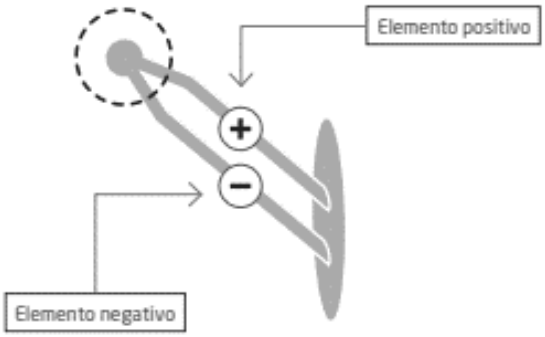


Figura 7 – Representação da junção de dois materiais de um termopar *[4]***.**

Todos os pares metálicos de diferentes materiais apresentam este efeito, mas apenas alguns deles produzem uma tensão de *Seebeck* considerável. Na Tabela 4, estão representados os principais pares metálicos utilizados em termopares, assim como, a tensão média gerada, por estes, por unidade de temperatura [4].

Tabela 4 – Principais pares metálicos utilizados em termopares e a tensão média gerada por cada par *[4]*.

Tipo	Elemento positivo	Elemento negativo	Tensão média gerada (µV/ ° C)
K	Ni90%Cr10% (Cromoníquel)	Ni95%Mn2%Si1%Al2% (Níquel)	41
T	Cu100% (Cobre)	Cu55%Ni45% (Constantan)	55
J	Fe99,5% (Ferro)	Cu55%Ni45% (Constantan)	55
N	Ni84,4%Cr14,2%Si1,4% (Nicrosil)	Ni95,45%Si4,4%Mg0,15% (Nisil)	36
E	Ni90%Cr10% (Cromel)	Cu55%Ni45% (Constantan)	75
R	Pt87%Rh13% (Ródio-Platina)	Pt100% (Platina)	10
S	Pt90%Rh10% (Ródio-Platina)	Pt100% (Platina)	10
B	Pt70,4%Rh29,6% (Ródio-Platina)	Pt63,9%Rh6,1% (Platina)	6
G	W100% (Tungsténio)	W74%Re26%(Tungsténio/Rénio)	14
C	W95%Re5% (Tungsténio)	W95%Re5% (Tungsténio)	17
D	W95%Re5% (Tungsténio)	W95%Re5% (Tungsténio)	18

Na Figura 8 observa-se a variação da tensão de *Seebeck* em função da temperatura para os tipos de termopares referidos anteriormente.

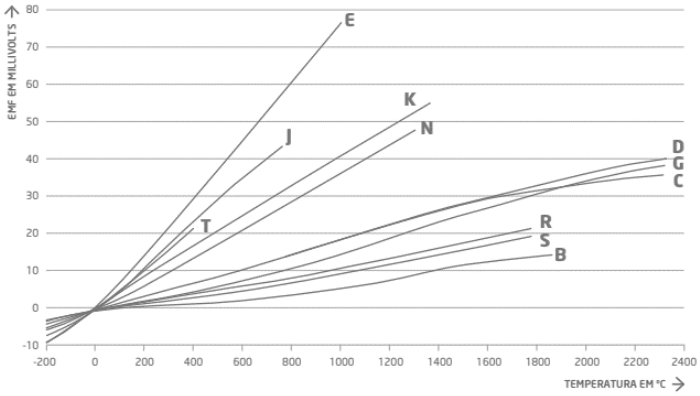


Figura 8 – Gráfico da tensão de *Seebeck* em função da temperatura para diversos tipos de termopares *[4]*.

2.1.4 Transmissores de temperatura

Os transmissores de temperatura são utilizados no controlo de processo e permitem a conversão dos sinais provenientes das RTDs (Ω) ou termopares (µV) num sinal elétrico padrão de 0 (4)...20 mA ou 0...10 V totalmente linear e proporcional à variável de processo. Estes têm a vantagem de converter um sinal elétrico muito reduzido, produzido nos sensores de temperatura, num sinal elétrico com uma gama dinâmica elevada. Sem esta conversão, os sinais seriam comprometidos e suscetíveis a interferências presentes no ambiente industrial [4].

2.2 Sensores de Gás

Em diversas instalações industriais e espaços confinados verifica-se a existência de gases que podem traduzir-se em riscos elevados para a saúde humana, sendo assim necessário garantir a máxima segurança dos trabalhadores ou utilizadores. Estes gases podem surgir como matéria-prima, como subprodutos remanescentes de um processo ou como produtos finais [12]. Desta forma, para garantir que os colaboradores possam desempenhar o seu trabalho de uma forma segura, é necessário conhecer os riscos a que estes estão sujeitos.

Os equipamentos de deteção de gases apresentam diversas funcionalidades, podendo estes ser usados numa vasta gama de aplicações, nomeadamente, em trabalhos a quente (como soldadura), em espaços confinados, em fugas de gás ao ar livre, entre outros.

Um espaço confinado é qualquer local com aberturas limitadas de entrada e saída, com ventilação natural desfavorável e com défice/aumento dos níveis de Oxigénio, podendo conter ou produzir contaminantes químicos. Este local não está concebido para ocupação humana contínua [13]. Os silos, reservatórios e túneis são alguns exemplos deste tipo de espaços [14].

Os riscos atmosféricos são os principais causadores de mortalidade neste tipo de trabalhos. De um modo geral, considera-se uma atmosfera perigosa quando se verifica uma das seguintes condições [15]:

- concentração de Oxigénio fora do intervalo de aceitação;
- presença de gases e vapores inflamáveis numa concentração em que se admita ser possível a sua inflamação na presença de uma fonte de ignição;
- presença de substâncias perigosas numa concentração em que se admita ser possível que a sua interação com o Homem provoque efeitos negativos para a sua saúde.

Conforme a sua utilização, os equipamentos de deteção de gás podem ser portáteis ou fixos. Normalmente, os detetores portáteis possuem os alarmes inseridos no próprio equipamento, de forma a garantir a segurança dos seus utilizadores, enquanto que os detetores fixos são ligados a centrais de deteção de forma a garantir a segurança em áreas específicas.

Os gases emitidos em ambientes industriais podem ser divididos em três grupos distintos: gases asfixiantes, gases tóxicos e gases inflamáveis [12]. Cada tipo de gás apresenta diferentes características, bem como diferentes procedimentos de segurança. Desta forma a entidade que possui estes equipamentos deve ter conhecimento da sua finalidade para garantir eficazmente a segurança dos seus trabalhadores.

Dentro dos equipamentos comercializados pela F. Fonseca nesta área, a *Industrial Scientific* foi a marca mais representativa nas tarefas executadas neste trabalho.

2.2.1 Classificação dos gases

2.2.1.1 Gases Asfixiantes

Os gases asfixiantes são gases responsáveis por reduzir os níveis de concentração de Oxigénio no meio ambiente, provocando dificuldades na respiração. O Azoto (N_2), o Hélio (He) e o Etano (C_2H_6) enquadram-se nesta classe de gases [12]. Em condições normais a atmosfera contém aproximadamente 20,9 % de Oxigénio. Os espaços confinados devem proporcionar uma atmosfera semelhante. Neste sentido, são estabelecidos parâmetros mínimos e máximos. Um ambiente com défice de Oxigénio contém menos de 19,5 % de Oxigénio em volume na pressão atmosférica normal, enquanto que, um ambiente enriquecido contém mais de 23 % de Oxigénio em volume [16].

Conforme os parâmetros mencionados e ilustrados na Figura 9 são definidos alarmes para os valores de Oxigénio, sendo 19,5 %VOL o valor mínimo e 23% VOL o valor máximo.

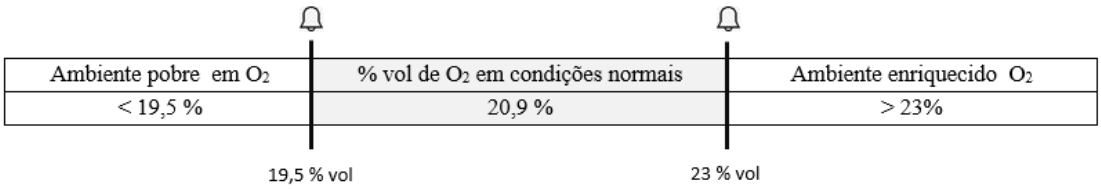


Figura 9 – Valores estipulados dos alarmes para os níveis de Oxigénio. Adaptado de *[16]***.**

2.2.1.2 Gases Tóxicos

Os gases tóxicos são definidos como um composto, que quando inalado, ingerido ou absorvido em contacto com a pele reage quimicamente com o organismo, provocando uma pequena irritação ou até a morte. As quantidades destes são tão pequenas que a unidade de medida utilizada é partes por milhão (ppm). O Monóxido de Carbono (CO), o Ácido Sulfídrico (H_2S), Dióxido de Enxofre (SO_2) e Amoníaco (NH_3) são alguns exemplos de gases tóxicos [12].

Os equipamentos de deteção de gases tóxicos são configurados com três alarmes para o limite de exposição [16]:

- **limite instantâneo** - alarme determinado quando a concentração de gás alcança o primeiro limite configurado;
- ***Time Weighted Average*** (TWA) - representa a concentração média de gás a que um trabalhador foi exposto durante um determinado período, o qual geralmente é definido como oito horas, representando um dia normal de trabalho;
- ***Short Term Exposure Limit*** (STEL) - representa a concentração média de gás a que um trabalhador foi exposto nos últimos 15 minutos. Se este valor for excedido o trabalhador deve-se retirar do local de trabalho por um período de pelo menos uma hora antes de reentrar. Este valor apenas pode ser excedido quatro vezes durante um turno de trabalho normal.

Para ambientes em que a concentração de gás é extremamente tóxica é configurado o limite instantâneo e para situações em que a atmosfera contenha concentrações mais baixas de gases, as exposições são calculadas ao longo do tempo utilizando o TWA e o STEL.

2.2.1.3 Gases Inflamáveis

Os gases inflamáveis são substâncias que misturadas com o ar e recebendo calor oportuno entram em combustão. Um fator a ter em consideração destes gases é o seu Limite Inferior de Explosividade (LIE), também conhecido por *Lower Explosive Limit* (LEL). Cada gás possui o seu próprio valor de LIE e a sua monitorização é realizada com alarmes entre 10 % a 20 % desse valor. O Metano (CH_4) e o Pentano (C_5H_{12}) são exemplos de gases inflamáveis. Para uma atmosfera explosiva é necessário que haja uma mistura de Oxigénio com o gás inflamável numa determinada proporção. Se a quantidade de ar for elevada e os níveis de gás forem baixos a atmosfera não será explosiva, da mesma forma que, se a quantidade de gás for excessiva e a quantidade de ar baixa, esta também não será considerada explosiva [12]. Os limites de explosividade de alguns gases encontram-se presentes na Tabela 5, e uma representação destes limites é mostrado na Figura 10.

Tabela 5 – Limites de explosividade de diferentes gases *[17]*.

Substância	LIE (% Vol)	LSE (% Vol)
Hidrogénio	4,0	75
Monóxido de carbono	12,5	74
Metano	5,0	15
Propano	2,1	9,5
Butano	1,8	8,4
Metanol	6,7	36
Etanol	3,3	19

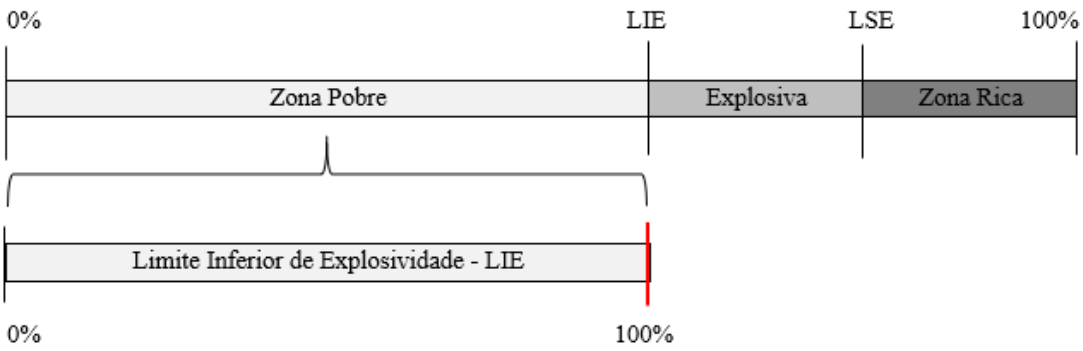


Figura 10 – Representação dos limites de explosividade. Adaptado de *[18]*.

2.2.2 Princípios de funcionamento de sensores de gás

Os sensores de gás são constituídos por uma camada ativa, onde são efetuadas as reações e um transdutor que converte a informação relativa à presença de um determinado gás e o valor da sua concentração num sinal elétrico no qual a informação está associada, por exemplo, ao valor da frequência, da corrente ou da tensão.

Os sensores de gases possuem diferentes tecnologias de operação, das quais se destacam os semicondutores, os catalíticos, os eletroquímicos, os de condutividade térmica e os de infravermelhos. Cada tecnologia possui as suas características de desempenho tendo como base o conjunto de figuras de mérito, das quais se realçam [19]:

- sensibilidade - mede o grau de variação da saída a variações de entrada;
- seletividade - corresponde se um sensor é capaz de responder seletivamente a um gás ou a uma mistura de gases;
- limite de deteção - é a menor concentração do gás que pode ser detetado pelo sensor sob determinadas condições, particularmente a uma dada temperatura;
- tempo de resposta - é o tempo que o sensor demora a responder a uma mudança da concentração de gás;
- tempo de recuperação - é o tempo necessário para o sinal voltar ao seu valor inicial depois de exposto a um certo valor de concentração.

De modo a decidir a melhor opção tecnológica para uma determinada aplicação deve-se ter em conta os parâmetros mencionados, bem como o tipo de gás que se pretende monitorizar.

2.2.2.1 Sensores Eletroquímicos

Os sensores eletroquímicos são os mais utilizados para deteção de gases tóxicos (em ppm) e deteção de Oxigénio (em % vol). Os componentes básicos deste tipo de sensores, mostrados na Figura 11 são: um elétrodo de trabalho, um contra elétrodo e geralmente um elétrodo de referência, em que estes são colocados na caixa do sensor em contacto com um eletrólito líquido. O elétrodo de referência tem como função manter o potencial estável e constante no elétrodo de trabalho devido às reações eletroquímicas contínuas que ocorrem na superfície deste. O elétrodo de trabalho fica na face interna de uma membrana de Teflon porosa a gás, mas impermeável ao eletrólito [20].

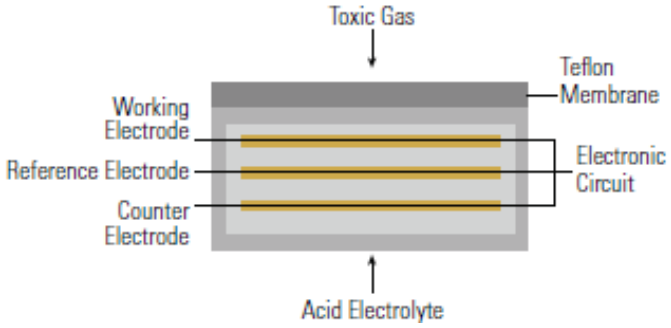


Figura 11 – Constituição de um sensor eletroquímico para deteção de gás *[21]*.

Na presença de um dado gás, este difunde-se no sensor e através da membrana hidrofóbica chega ao elétrodo de trabalho. Ocorre uma reação eletroquímica assim que o elétrodo de trabalho deteta o referido gás. Esta reação pode ser de oxidação ou redução, dependendo do tipo de gás a identificar [19].

Uma reação de oxidação resulta no fluxo de eletrões do elétrodo de trabalho para o contra elétrodo através do circuito externo, e uma reação de redução resulta no fluxo de eletrões do contra elétrodo para o elétrodo de trabalho. Este fluxo de eletrões constitui uma corrente elétrica proporcional à concentração de gás. Os circuitos eletrónicos associados ao dispositivo detetam e amplificam a corrente e possibilitam a sua calibração [21].

Um sensor eletroquímico pode ser usado para medir, por exemplo, o monóxido de carbono. Na equação 5, a reação de oxidação ocorre no elétrodo de trabalho, o dióxido de carbono difunde-se no ar e os iões carregados positivamente migram para o eletrólito [19].

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + 2H^+ + 2e^- \quad \textbf{(5)}$$

A reação de oxidação é equilibrada por uma reação de redução correspondente no contra elétrodo, como mostra na equação 6.

$$O_2 + 4\,H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \quad \textbf{(6)}$$

No elétrodo de trabalho, a água é consumida enquanto os eletrões são gerados e, no contra elétrodo, a água é formada enquanto os eletrões são consumidos.

2.2.2.2 Sensores Catalíticos

Os sensores catalíticos são os mais utilizados para a deteção de gases combustíveis (em % de LEL). Estes possuem como princípio de funcionamento a ponte de *Wheatstone*, representada na Figura 12, na qual existe um par de elementos denominados detetor (parte ativa) e compensador (parte inativa), onde o detetor consiste num fio de platina com material catalítico e o compensador, com material idêntico, porém sem a parte catalítica. A ponte é alimentada por uma tensão DC constante capaz de aquecer o par de elementos a temperaturas muito altas, entre 300 a 500 ºC, dependendo do gás alvo [19].

O gás combustível em contacto com o detetor oxida apenas o elemento catalítico, aumentando a resistência provocando assim uma variação de tensão na ponte diretamente proporcional à queima deste elemento.

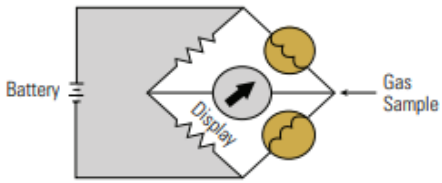


Figura 12 – Circuito da ponte de *Wheatstone* para sensores catalíticos *[22]*.

Como a combustão ocorre dentro da câmara do sensor, este é projetado e construído de forma a que seja intrinsecamente seguro e não atue como uma fonte de ignição no caso de ser exposto a uma atmosfera combustível, através do uso de um corta-chamas, visível na Figura 13, que atua como um caminho de arrefecimento para os gases que escapam do sensor, normalmente formado por um material sinterizado. Apenas unidades testadas e aprovadas por agências de aprovação de terceiros, como por exemplo o Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC) e a *Mine Safety and Health Administration* (MSHA) podem ser consideradas intrinsecamente seguras [22].

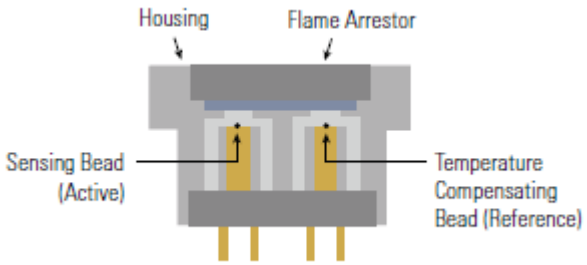


Figura 13 – Constituição de um sensor de gás combustível *[22]*.

Para uma deteção adequada de gases combustíveis é requerido um mínimo de 10 % vol de Oxigénio, caso contrário a deteção pode ser errônea [16].

O desempenho destes sensores é também influenciado por venenos e inibidores. Os venenos são substâncias que aderem ao material catalítico e provocam danos permanentes nestes, fazendo com que o sensor perca a sua sensibilidade, reduzindo a sua vida útil. Caso o sensor seja exposto a um veneno este deve ser calibrado o mais rapidamente possível [16].

Os compostos à base de silicone e vapores de chumbo podem ser considerados agentes venenosos. Quanto aos inibidores, são também substâncias que aderem ao material catalítico fazendo com que o sensor perca sensibilidade, contudo este tem a capacidade para recuperação parcial, afetando a vida útil do sensor a longo prazo. Uma forma de ajudar na recuperação é fazer uma calibração para o gás Pentano (C_5H_{12}). Os compostos de enxofre (como o Ácido Sulfídrico (H_2S), Dióxido de Enxofre (SO_2), entre outros) e os compostos halogenados (contém um ou mais dos seguintes itens: Flúor (F), Cloro (Cl), Bromo (Br) e Iodo (I)) podem ser considerados como agentes inibidores.

A calibração é a única forma de verificar se ocorreu alguma perda de sensibilidade no sensor e identificar se o mesmo deve ser substituído [16].

2.2.2.3 Sensores de Condutividade Térmica

Estes sensores são geralmente usados para deteção de gases com condutividade térmica maior que o ar (como o hidrogénio e o metano), sendo que gases com uma condutividade térmica próxima (amoníaco e o monóxido de carbono) e inferior (dióxido de carbono) ao ar não podem ser detetados, uma vez que se torna difícil a sua deteção através deste método devido às interferências causadas entre eles [19]. Na Tabela 6 encontram-se os valores de condutividade térmica referentes aos gases mencionados.

Tabela 6 – Valores de Condutividade Térmica para diferentes gases *[23]*.

Gás	Condutividade Térmica ($mW \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Ar	26,14
Hidrogénio	181
Metano	33,55
Amoníaco	24,6
Monóxido de Carbono	24,87
Dióxido de Carbono	16,55

Estes sensores baseiam o seu funcionamento no princípio da perda de calor de um elemento mais quente para um elemento mais frio através da condutividade térmica. Estes consistem em duas esferas de resistências inertes com uma termoresistência inserida. Uma destas esferas é exposta ao gás alvo enquanto que a outra é selada dentro de uma câmara contendo o gás de referência, sendo ambas aquecidas. Tal como um sensor catalítico, também é utilizado um circuito de ponte de *Wheatstone* (onde as duas esferas são conectadas) [24]. Quando exposto ao gás alvo, perde-se calor que é maior ou menor, dependendo da condutividade do gás alvo em relação ao gás de referência, o que leva a um desequilíbrio na ponte de *Wheatstone*, determinando assim o valor da concentração de gás presente.

2.2.2.4 Sensores Semicondutores

Os sensores de gás semicondutores são dispositivos constituídos por óxidos metálicos aquecidos que são usados para medir a concentração de um determinado gás alvo através da medição da resistência elétrica do dispositivo.

O princípio de funcionamento destes sensores baseia-se na adsorção reversível de gás na superfície do óxido aquecido. Normalmente óxidos de estanho são depositados sobre um

substrato de silício pelo método da deposição química a vapor, designado na literatura anglo-saxónica por *Chemical Vapor Deposition* (CVD).

A absorção do gás da amostra na superfície do óxido, seguida pela oxidação catalítica, resulta numa variação da resistência elétrica do material, a qual está relacionada com a concentração de gás da amostra e controlada pelo medidor mostrado na Figura 14.

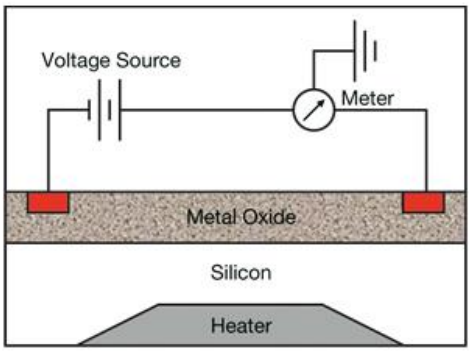


Figura 14 – Representação da constituição de um sensor semicondutor *[19]*.

O aquecedor na base é usado para aquecer o sensor a uma temperatura constante (200 - 250 ºC) de forma a acelerar a taxa de reação. Para a deteção de gases redutores são adequados semicondutores intrínsecos do tipo *n* devido à alta alteração da condutividade como resultado da injeção dos eletrões, da mesma forma, são adequados semicondutores do tipo *p* para a deteção de gases oxidantes.

Estes sensores podem ser configurados como um sensor de um elétrodo ou de dois elétrodos, sendo este último menos usual. Na configuração do sensor de um elétrodo a resistência do metal atua como aquecedor e elétrodo de medição ao mesmo tempo. Os sensores geralmente encontram-se incorporados num circuito de ponte de *Wheatstone* funcionando sob uma corrente constante estabilizada [19].

2.2.2.5 Sensores Infravermelhos

O princípio de funcionamento dos sensores de infravermelhos baseia-se em transmissores e recetores que detetam gases inflamáveis. Os transmissores têm como função a emissão de uma fonte de luz e os recetores são responsáveis por detetá-la. Assim, se o gás interferir na passagem do feixe, haverá dificuldade na transmissão para o recetor [19]. O método é baseado na absorção da radiação pelo gás num comprimento de onda específico. A concentração do gás é determinada através da comparação entre a radiação emitida e a radiação detetada durante a passagem do gás [25].

A deteção seletiva dos gases é possível, uma vez que estes possuem comprimentos de onda distintos, como se pode observar na Figura 15.

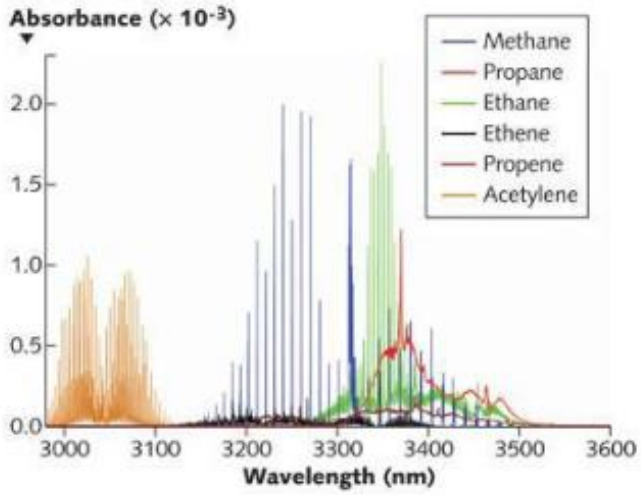


Figura 15 – Absorvância em função do comprimento de onda para diferentes gases *[25]***.**

2.2.3 Comparação entre sensores de gás

As tecnologias referidas para deteção de gases apresentam um bom desempenho, contudo é necessário conhecer os aspetos a favor e contra das mesmas, uma vez que estas dependem de certas condições operacionais e ambientais bem como do custo de produção de cada sensor. Na Tabela 7 estão apresentadas sucintamente as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de sensor de gás [19].

Tabela 7 – Vantagens e desvantagens de cada tipo de sensor de gás *[19]***.**

Tipo de sensor	Vantagens	Desvantagens
Catalítico	Simples; Mede a inflamabilidade dos gases; Tecnologia de baixo custo;	Requer ar ou Oxigénio para funcionar; Pode ser danificado por partículas de chumbo, cloro ou silicones;
Condutividade térmica	Construção robusta, mas simples; Fácil de operar na ausência de Oxigénio; Faixa de medição muito ampla;	Reação devido ao fio de aquecimento;
Eletroquímico	Mede gases tóxicos em concentrações relativamente baixas; Pode detetar uma ampla gama de gases;	Requerem a utilização de técnicas avançadas para a deteção de falhas;
Semicondutores	Mecanismo robusto; Funciona corretamente em condições de alta humidade constante;	Suscetível a contaminantes e alterações devido a condições ambientais; A resposta não linear afeta a complexidade dos circuitos;
Infravermelhos	Usa apenas técnicas físicas; Não tem modos de falha invisíveis; Pode ser usado em atmosferas inertes;	Nem todos os gases possuem absorção de infravermelho.

2.3 Calibração e Verificação de Detetores de Gases

Com o passar do tempo, o desempenho dos sensores é afetado, por exemplo pela exposição a certos gases considerados "venenosos", pela frequência com que estes são utilizados, do tipo de sensor entre outros fatores. Assim sendo, a realização de calibrações nos detetores de gases é crucial, para além de serem obrigatórias por norma, de forma a assegurar a qualidade e a confiabilidade dos valores obtidos. Os detetores que não estejam calibrados fornecem dados incorretos, podendo colocar em risco a vida dos trabalhadores que os utilizam.

A cada utilização, o equipamento deve ser submetido a um teste de resposta, que consiste na aplicação de um gás com uma concentração conhecida e verificar se o mesmo apresenta uma leitura coerente dentro da margem de erro disponibilizada pelo fabricante. Caso esta leitura se encontre fora dos padrões, é recomendada uma calibração imediata. As calibrações geralmente são recomendadas pelo fabricante por um intervalo de tempo mínimo, contudo uma calibração pode ser realizada em qualquer altura, por iniciativa do seu utilizador. A manutenção preventiva, designadamente a troca dos filtros e a limpeza periódica dos mesmos aumentam a vida útil do equipamento e do(s) seu(s) sensor(es) [26].

2.4 *Human Machine Interface (HMI)*

Uma Interface Homem-Máquina, consiste numa interface ou painel que conecta um utilizador a uma máquina, dispositivo ou até mesmo a um sistema. O termo HMI pode ser tecnicamente aplicado a qualquer tela que permita a interação entre um utilizador e um dispositivo, contudo este termo é mais utilizado em ambientes industriais. Em sistemas industriais, as HMI são usadas para diversas finalidades, como por exemplo na exibição de dados em tempo real, na monitorização de entradas e saídas, entre outros, de forma a otimizar os processos industriais. As HMI assumem diferentes formas desde telas integradas em máquinas, a monitores de computadores, *tablets*, sendo que todas as suas formas têm como objetivo permitir aos utilizadores a visualização dos dados sobre as operações e o controlo dos equipamentos [27].

De um modo geral, as HMI são usadas para otimizar processos industriais, centralizando todos os dados num único local de forma a tornar mais acessível a sua visualização pelo operador. Estes dados podem ser exibidos na forma de gráficos, tabelas ou painéis digitais, sendo possível também a visualização e a monitorização de alarmes.

As HMI foram surgindo em consonância com o desenvolvimento da automação, sendo este marcado por diferentes revoluções industriais. A primeira revolução levou as máquinas à produção, contudo estas não usavam HMI, eram controladas diretamente através de manivelas, pedais e alavancas. Na segunda revolução industrial, com o aparecimento da eletricidade, foram surgindo os primeiros elementos da HMI, como luzes para indicar algo energizado e interruptores para ligar/desligar a energia, originando assim o conceito de HMI. O primeiro HMI com as funcionalidades mais elaboradas, enunciadas anteriormente, surgiu assim na terceira revolução industrial. Na Figura 16 é apresentada a classificação da HMI por revoluções [28].

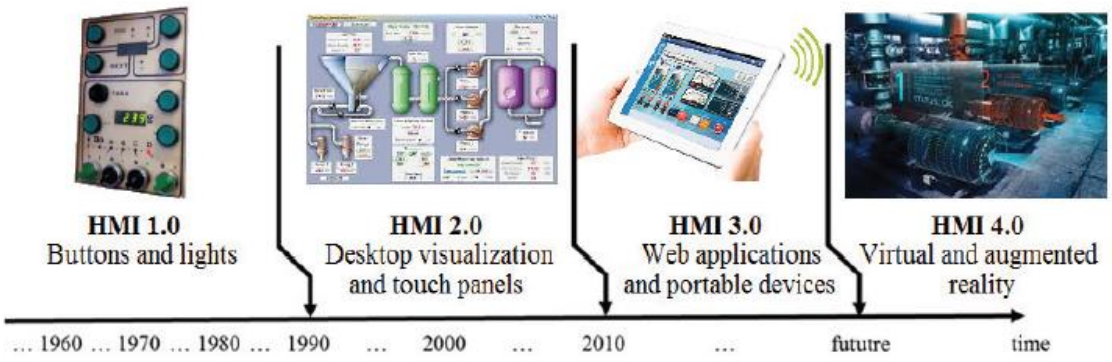


Figura 16 – Revolução de HMI *[28]*.

Os avanços tecnológicos e as necessidades operacionais e comerciais em constante evolução resultaram em alterações nas funcionalidades da tecnologia de HMI. As HMI de alto desempenho mais recentes englobam diferentes tecnologias designadamente a utilização de telas sensíveis ao toque, dispositivos móveis, sistemas baseados em tecnologias *cloud* criando assim mais oportunidades para a interação e a análise de equipamentos [29].

As HMI de alto desempenho garantem uma interação mais rápida e eficaz, apresentando um método de *design* apenas com os indicadores mais necessários ou críticos, com o objetivo de chamar a atenção do utilizador. As telas sensíveis ao toque e HMI móveis surgiram com o aparecimento dos *smartphones*, substituindo os botões e interruptores por simples toques nas telas. Esta tecnologia é especialmente importante quando usada com as HMI móveis, que são implementadas através de HMI/SCADA baseada na *web* ou através de uma aplicação.

A HMI móvel oferece uma variedade de vantagens, como o acesso instantâneo às informações e a monitorização remota permitindo maior flexibilidade e acessibilidade. Outra tecnologia em voga consiste no envio dos dados de uma HMI local para a *cloud*, onde estes podem ser acedidos e analisados remotamente, mantendo os recursos de controlo locais.

Numa perspetiva futurista, estão a ser exploradas formas de implementar a realidade aumentada, que transpõe os gráficos digitais no mundo real e a realidade virtual, que envolve os utilizadores num mundo digital, criando efeitos visuais mais interessantes para visualizar as funções de produção, visto que os dados assumem cada vez mais um papel essencial nos diversos processos [29].

2.5 *Internet of Things* (IoT)

Desde o aparecimento da Internet têm ocorrido diversas explosões tecnológicas com um enorme impacto na forma como vivemos e olhamos o mundo. A mais recente destas explosões foi provocada pelo aparecimento de um novo tipo de tecnologia, mais precisamente, um novo conceito de tecnologia designado por *Internet of Things*, onde as comunicações estão a passar de homem-homem e homem-dispositivo para máquina-máquina [30]. A IoT tem vindo a dar origem a novos mercados e a alterar os fundamentos de outros já existentes, usufruindo assim de uma enorme influência na sociedade em geral, quer a nível empresarial como a nível pessoal.

A Internet das Coisas é uma tradução literal da expressão em inglês *Internet of Things*, a qual designa a capacidade de um conjunto de dispositivos se encontram habilitados a estarem ligados à internet, sendo capazes de comunicarem entre si, e com um servidor com o intuito de registar informação relativa a grandezas a monitorizar sobre os objetos ou o ambiente que os rodeia, podendo o seu estado ser alterado com ou sem o envolvimento ativo do ser humano [31].

O conceito de IoT resume-se à troca autónoma de informações úteis entre diversos dispositivos do mundo real, incorporados de forma invisível à nossa volta, alimentados pelas principais tecnologias, como redes de sensores sem fios e *Radio Frequency IDentification* (RFID). Os dados dos parâmetros monitorizados serão adquiridos pelos dispositivos sensores e posteriormente, processados para uma tomada de decisão, de forma autónoma [30].

Atualmente, o universo de IoT já se estende por diversos tipos de dispositivos desde eletrodomésticos, câmaras de vigilância, dispositivos médicos, veículos, sensores de presença, entre muitos outros. Com esta tecnologia pretende-se que do processamento dos dados adquiridos por um conjunto vasto de sensores e armazenados num dado servidor resulte uma mais valia, que auxilie a forma como vivemos, identificando e evitando, por exemplo, engarrafamentos de trânsito, fogos ou inundações, antecipando atempadamente doenças potencialmente fatais, otimizando a produção agrícola e industrial entre outras aplicações [31].

2.6 Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 vai para além da implantação de sistemas eletrónicos e de tecnologias da informação e comunicação (TIC), geralmente nos processos de produção em fábricas, conceitos estes que caracterizaram a Indústria 3.0 [31].

Esta nova vaga tecnológica baseia-se no conceito de IoT acima referido, viabilizando uma grande interação entre os diversos dispositivos instalados ao longo de uma cadeia de produção no "chão de fábrica", incluindo a cadeia logística, proporcionando assim que os processos de fabrico resultem de uma ligação entre o mundo físico e o virtual. O facto de estes dispositivos interagirem entre si autonomamente otimiza o processo produtivo aumentando a eficácia da cadeia de produção, e a qualidade dos produtos fabricados [31].

Por outras palavras, a tecnologia digital em que se baseia a Indústria 4.0 contempla a simbiose da informação digital proveniente de vários locais e de diferentes fontes, tendo em conta o comando e o controlo do ato físico de produzir e distribuir um bem ou um conjunto de bens.

Esta união dos sistemas TIC com as *Operational Technologies* (OT) envolve um conjunto de tecnologias que vão além do IoT, como é o caso da análise massiva de dados (*Big Data* & *Analytics*), inteligência artificial, robótica, entre outros, completando assim o ciclo que digitaliza todo o processo produtivo e logístico [31].

Importa referir que a IoT e a Indústria 4.0 são uma realidade que apresenta vantagens significativas bem como vulnerabilidades consideráveis, como é o caso da segurança que ainda é uma das principais dificuldades para a implementação de inovações neste setor [32]. Assim torna-se necessário o desenvolvimento de um conjunto de políticas que, tendo por base a

"*security by design*", que enquadrem a produção, a aquisição, a instalação, e as restantes fases do ciclo de vida dos dispositivos IoT, de modo a reduzir os riscos que surgem desta nova realidade [31].

2.7 Conclusão do Capítulo

Depois de abordados os tópicos iniciais deste capítulo, foram apresentados diversos tipos de sensores e tecnologias. De entre eles, refira-se os sensores de temperatura, dada a sua massiva utilização no setor industrial e os sensores de gás, de forma a garantir a segurança e saúde dos utilizadores.

Os restantes tópicos foram mencionados com o objetivo de compreender aspetos importantes relativos ao funcionamento dos módulos utilizados na aplicação desenvolvida, os quais serão abordados no próximo capítulo.

3. SISTEMAS INDUSTRIAIS E COMUNICAÇÕES

A Automação Industrial é uma área muito importante na indústria portuguesa e mundial, e com a crescente utilização da Internet como meio de comunicação e com a necessidade de supervisionar, controlar e manter os processos industriais, torna-se cada vez mais importante monitorizar remotamente cada processo industrial, com o objetivo de reduzir custos de produção e manutenção e garantir o controlo das máquinas e processos.

Neste capítulo, apresentam-se os equipamentos utilizados na aplicação desenvolvida, que será abordada a seguir, bem como as suas especificações. Para além disso será descrito o protocolo de comunicação Modbus, tendo em conta a sua massiva utilização na comunicação de informação entre os módulos utilizados.

3.1 Equipamentos Utilizados

3.1.1 Consola cMT-SVR-100 da *Weintek*

A *Weintek*, empresa com sede no estado insular de Taiwan, República da China, é uma parceria da F. Fonseca desde 2011. A *Weintek* é uma das marcas líderes ao nível mundial no desenvolvimento, conceção e fabrico global de HMI [33].

O modelo utilizado cMT-SVR-100, representado na Figura 17, é um modelo da mais recente série da *Weintek*, da cMT, e apresenta uma arquitetura inovadora quebrando assim a arquitetura tradicional da HMI. Esta é constituída por duas partes distintas, a parte do servidor, a cMT-SVR e um dispositivo de visualização que pode ser, por exemplo, uma cMT-iV5, um computador ou até mesmo um *smartphone*/*tablet* (*Android* ou *iOS*) [34].

Figura 17 – HMI da *Weintek* - cMT-SVR-100 *[34]*.

O modelo apresentado possui as seguintes características técnicas [35]:

- processador: 32 bit *ARM Cortex* A8 600 MHz;
- telas com resolução de 1024 x 748 ou 768 x 1004;
- três portas séries (1 x RS232 e 2 x RS485);
- porta *USB* 2.0 para ligar uma interface, rato ou teclado; ou pendrive;
- duas portas de comunicação *Ethernet Gigabit*;
- *slot* para cartão de memória *CompactFlash* SD/SDHC;
- memória RAM: 256 MB;
- memória Flash: 256 MB;
- relógio de tempo real com calendário;
- temperatura de operação: -20 ~ 55 ºC;
- alimentação: 24 Vcc ± 20 % 230 mA;
- dimensões (LxAxP): 27 x 130 x 115 mm;
- montagem em calha DIN 35 mm.

De uma forma resumida, a série cMT dispõe das seguintes funcionalidades:

- módulo servidor multiprotocolo para sistemas de supervisão, com acesso remoto e simultâneo por *smartphones*, computadores e *tablets*;
- dispõe de um *software* próprio e gratuito, *EasybuilderPro*, com *drivers* de comunicação para a maioria de fabricantes de PLCs do mundo;
- converte os protocolos de diferentes PLC para Modbus TCP/IP simplificando a comunicação com o *software* de supervisão;
- possibilita a centralização e transmissão de dados da rede industrial em diversos protocolos/dispositivos por rede *Ethernet* local ou remotamente;
- permite acesso direto a bancos de dados SQL;
- programação livre por macros;
- possui a função de passagem, ou seja, possibilita a programação de um PLC através da conexão à HMI;
- servidor de e-mails;
- registo de eventos e de alarmes;
- acesso remoto totalmente seguro através da tecnologia *Virtual Private Network* (VPN) que atravessa a *firewall* (*EasyAccess*2.0 (requer licença)).

3.1.2 Módulos de I/O da *Advantech*

A *Advantech*, empresa com sede também em Taiwan, República da China, é uma parceria da F. Fonseca para a área de *Smart City* & *IoT Solutions*. Fundada em 1983, a *Advantech* é líder no fornecimento de produtos e soluções inovadoras e confiáveis de automação incorporada. Oferece integração abrangente de sistemas, *hardware* e *software*. A *Advantech* é uma empresa inovadora no desenvolvimento e fabricação de plataformas de computação de alta qualidade e de alto desempenho, no qual coopera com os seus parceiros para ajudar de forma a fornecer soluções completas para uma ampla gama de aplicações na indústria. Para realizar a sua visão corporativa de habilitar um Planeta Inteligente, a *Advantech* continua a colaborar e a desenvolver soluções IoT para as cidades inteligentes [36].

Os módulos em destaque pertencem a duas séries distintas, nomeadamente a série ADAM-6000 e a série WISE-4000, as quais possuem diferentes potencialidades, como será descrito de seguida.

3.1.2.1 Série ADAM-6000

Os módulos da série ADAM-6000, são módulos de aquisição e controlo de dados baseados em *Ethernet* que permitem soluções de monitorização e controlo distribuído para uma ampla variedade de aplicações. Estes módulos podem recuperar os valores das entradas/saídas dos sensores/atuadores e colocá-los disponíveis nos nós da rede por via LAN, Intranet ou Internet, permitindo assim uma maior flexibilidade. Estes módulos são facilmente adicionados a redes *Ethernet* existentes ou em novas redes habilitadas com este padrão, sendo este muito utilizado na maioria dos ambientes industriais [37].

Os módulos desta série possuem funções inteligentes pré-criadas que podem aprimorar os recursos do sistema, por exemplo, os módulos de entrada digital fornecem funções de contador, os módulos de saída digital fornecem funções de saída de pulso e atraso de saída, os módulos de entrada analógica fornecem cálculos de dados estatísticos (min, max e média) e os módulos de saída analógica fornecem uma função de controlo *Proportional-Integral-Derivative* (PID).

Estes módulos possuem também as tecnologias *Peer-to-Peer* (P2P) e *Graphic Condition Logic* (GCL), que são explicadas seguidamente, e podem funcionar como produtos independentes para medição e controlo. Suportam também vários protocolos, entre os quais, Modbus TCP/IP, *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), *Simple Network Management Protocol* (SNMP) e *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Estes equipamentos são configurados a partir do *software AdamApax.Net Utility*, com gráficos intuitivos e fáceis de usar. Todos os módulos desta série possuem um servidor *web* que pode ser acedido usando um *browser* padrão que permite aos programadores criar páginas *web* personalizadas. Assim, a partir de dispositivos móveis, como *smartphones* ou *tablets*, é possível monitorizar e controlar o estado das entradas/saídas dos módulos [37].

As tecnologias descritas, P2P e GCL podem ser caracterizadas por [37]:

- *Peer-to-Peer* (P2P):

Existem dois modos de operação:

modo básico - apenas um módulo de destino recebe os dados do módulo de origem, como mostra a Figura 18;

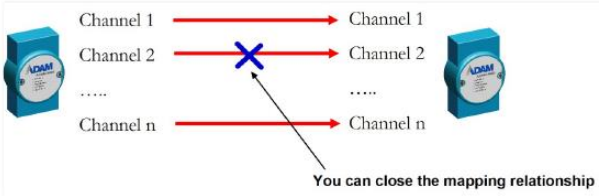


Figura 18 – Modo básico de operação para função P2P *[37]*.

modo avançado - um módulo de destino pode receber dados de diferentes módulos de origem ou então vários módulos de destino recebem dados do mesmo módulo de origem, como se observa na Figura 19.

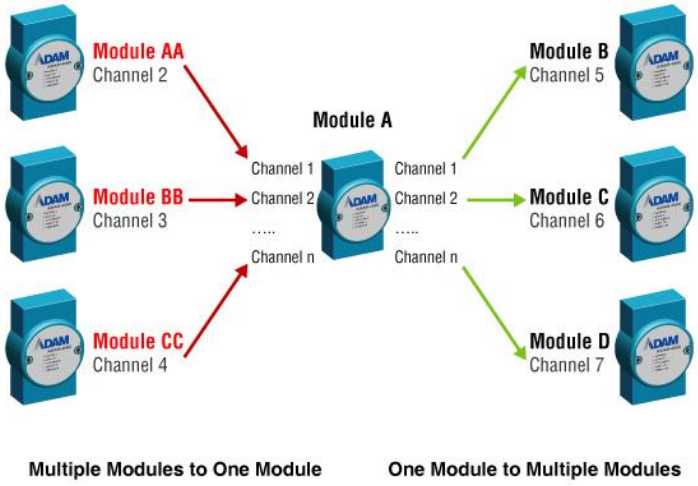


Figura 19 – Modo avançado de operação para função P2P *[38]*.

- *Graphic Condition Logic* (GCL):

Esta função permite aos utilizadores configurar facilmente regras lógicas em qualquer equipamento, como representado na Figura 20. Estas regras são definidas através do *software*, não sendo necessário nenhum controlador nem programação adicional.

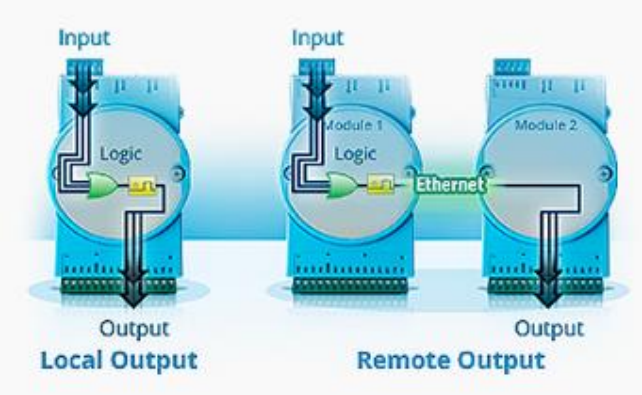


Figura 20 – Função GCL *[39]***.**

Na Figura 21, observa-se o módulo utilizado desta série, o ADAM-6060.

Figura 21 – Módulo ADAM-6060 da *Advantech* *[40]***.**

O ADAM-6060 é um módulo de entradas digitais e saídas a relé, tendo estas as seguintes especificações, presentes na Tabela 8:

Tabela 8 – Especificações das entradas/saídas do ADAM-6060 *[37]***.**

Entradas Digitais	**Saídas de relé**
Canais: 6; Contacto seco: - Nível lógico 0: fechado para GND; - Nível lógico 1: aberto; Contacto molhado: - Nível lógico 0: 0 ~ 3 V_{DC}; - Nível lógico 1: 10 ~ 30 V_{DC};	Canais: 6; Classificação do contacto (resistivo): - 120 V_{AC} @ 0,5 A; - 30 V_{DC} @ 1 A; Tempo total de comutação: 10 ms; - *relay-on:* 7 ms; - *relay-off*: 3 ms; Suporta saída de pulso (máx. 3 Hz).

3.1.2.2 Série WISE-4000

Esta série é a nova geração de dispositivos de entradas/saídas da *Advantech* e traz um espírito orientado à Tecnologia de Informação para o mercado. Alguns destes equipamentos ligam-se à rede através de um cabo baseado no protocolo *Ethernet* e outros por comunicação sem fios (*wireless*). Estes módulos incluem conceitos avançados de aquisição, processamento e publicação de dados (A-P-P), atendendo às necessidades de monitorização e controlo sob uma estrutura de IoT. Com recurso a estes conceitos, o tempo necessário para gerar relatórios detalhados pode ser reduzido. Assim, os utilizadores podem rapidamente identificar possíveis problemas minimizando o tempo de inatividade do sistema ou até mesmo evitá-lo. Suportam igualmente diferentes protocolos de comunicação, entre os quais, Modbus TCP/IP, HTTP, SNMP e MQTT [41].

A configuração destes módulos pode ser efetuada por *software*, *AdamApax.Net Utility*, ou através de um *browser* com gráficos intuitivos e fáceis de utilizar.

Dos vários recursos destes módulos destacam-se o serviço da *Web RESTful*, o armazenamento de dados e a função de *cloud* IoT [41].

- Serviço da *Web RESTful*

O estilo de arquitetura de *software Representational State Transfer* (REST) é usado para criar serviços da *web* escaláveis, como mostra na Figura 22. É muito utilizado por aplicações IoT pelo seu nível de escalabilidade, simplicidade e desempenho.

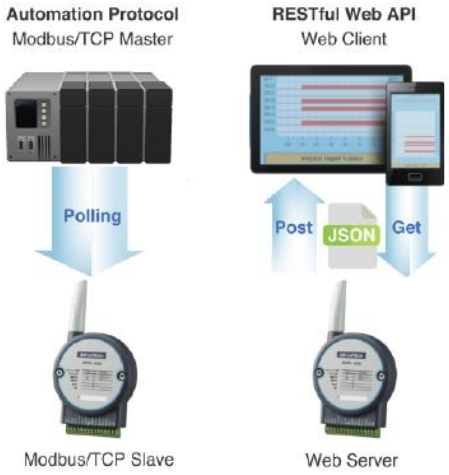


Figura 22 – *RESTful Web Service* *[41]*.

Baseia-se no protocolo HTTP e utiliza métodos como GET, POST, PUT e DELETE para obter páginas web ou para recuperação de dados em servidores remotos. Os dados podem ser recuperados pela *Internet*, como HTML, XML ou JSON [41]. De uma forma geral o REST é um *Uniform Resource Identifier* (URI) para a identificação dos dados, como por exemplo, usar "http://10.0.0.1/analoginput/ch1" para identificar o valor da entrada analógica do canal 1.

- Função de armazenamento de dados

Estes módulos possuem uma memória com capacidade de registar até 10000 amostras de dados de entradas/saídas. Estes dados podem ser registados periodicamente e/ou quando é alterado o valor da entrada/saída, sendo programado conforme a necessidade. Quando a memória ficar cheia, os utilizadores podem libertar os dados antigos ou simplesmente cancelar a função de registo. Quando o módulo é desligado, assim que o mesmo é reiniciado, os utilizadores podem decidir se querem eliminar ou manter os dados no módulo. Estes têm um *Real-Time Clock* (RTC) incorporado e sempre que existe o registo de dados é guardado também a hora, a data e o endereço MAC do módulo. Este relógio pode ser calibrado por *Simple Network Time Protocol* (SNTP) com o servidor de horário.

- Função *IoT cloud*

Para além da função de pesquisa dos dados armazenados no módulo, estes podem ser enviados automaticamente para a *cloud* quando são satisfeitos os critérios para o *upload. O*s dados são enviados para serviços de nuvem pública, como *Dropbox* ou *Baidu*. Estes dados são guardados na *cloud* com uma extensão de arquivo "*.csv", podendo ser consultados e sincronizados de qualquer lugar utilizando a aplicação da própria *cloud*.

Na Figura 23, observam-se os módulos utilizados desta série: o WISE-4010/LAN, com ligação à rede por cabo *Ethernet*, e o WISE-4012 e o WISE-4220 por ligação *wireless*.

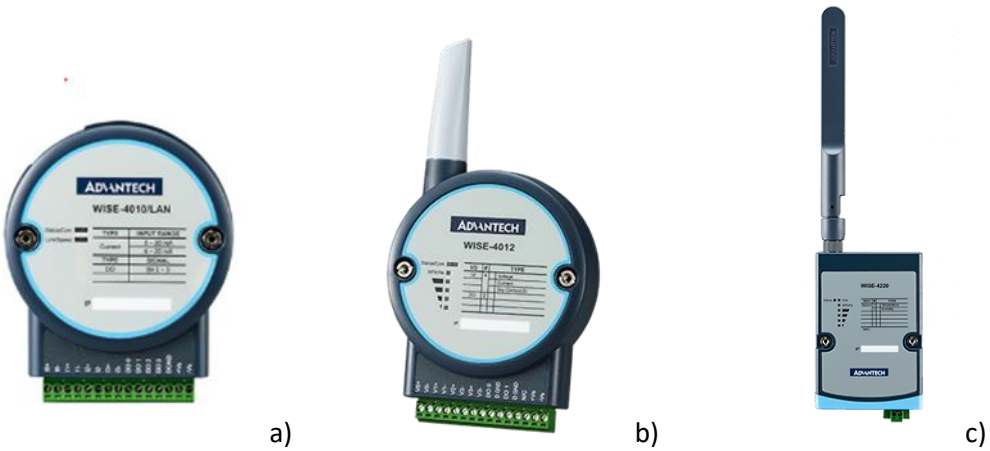


Figura 23 – Módulos da série WISE-4000 da *Advantech*:

a) WISE-4010/LAN [42]**, b) WISE-4012** [43] **e c) WISE-4220** [44]**.**

O WISE-4010/LAN é um módulo de entradas de corrente e saídas digitais, tendo estas as seguintes especificações, visíveis na Tabela 9:

Tabela 9 – Especificação das entradas/saídas do WISE-4010/LAN *[41]***.**

Entradas de corrente	Saídas digitais
Canais: 4; Resolução: 12 bits; Taxa de amostragem: 10/100 Hz/canal; Faixa de entrada: 0~20 mA, 4~20 mA; Impedância de entrada: 120 Ω;	Canais: 4; - Coletor aberto a 30 V, 400 mA máx. para resistência de carga; - Para cargas indutivas necessário um díodo para eliminar o *flyback* (pico de tensão numa carga indutiva quando a sua corrente de alimentação é subitamente reduzida ou interrompida) quando a DO está desligada; Suporta saída de pulso de 5 kHz; Suporta atraso de saída alto a baixo e baixo a alto.

O WISE-4012 é um módulo de entradas universais e saídas digitais, tendo estas as seguintes especificações, visíveis na Tabela 10:

Tabela 10 – Especificações das entradas/saídas do WISE-4012 *[41]***.**

Entradas Universais	Saídas Digitais
Canais: 4; Resolução: 16 bits; Taxa de amostragem: - Entrada universal: 10 Hz (total); - Entrada digital: 2 Hz (por canal); Tipos de entrada: - Entrada de tensão: - Faixa de entrada: 0~150 mV,0~500 mV, 0~1 V,0~5 V,0~10 V; - Impedância de entrada: >10 MΩ; - Entrada de corrente: - Faixa de entrada: 0~20 mA, 4~20 mA; - Impedância de entrada: 120 Ω (precisa de resistência externa); - Entrada digital (contato seco): - 0: aberto; - 1: fechado para GND;	Canais: 2: - Coletor aberto a 30 V, 400 mA máx. para resistência de carga; - Para cargas indutivas necessário um diodo para eliminar o *flyback* (pico de tensão numa carga indutiva quando a sua corrente de alimentação é subitamente reduzida ou interrompida) quando a DO está desligada; Suporta saída de pulso de 5 kHz; Suporta atraso de saída alto a baixo e baixo a alto.

O WISE-4220 é um módulo diferente dos apresentados anteriormente, este equipamento apresenta um sensor de temperatura e um sensor de humidade embarcados. Assim, este módulo disponibiliza o valor de temperatura e de humidade do local onde está implantado. Os seus sensores possuem as seguintes características, visíveis na Tabela 11.

Tabela 11 – Especificações do sensor de temperatura e do sensor de humidade do WISE-4220 *[45]***.**

Sensor de temperatura	Sensor de humidade
Resolução: 0.1 (°C / °F / K); Intervalo de medida: - 25 °C ~ 70 °C (- 13 °F ~ 157.9 °F);	Resolução: 0.1 % RH; Intervalo de medida: 10 ~ 90 % RH.

3.2 Comunicações

Um projeto de automação industrial envolve não só um grande conjunto de equipamentos bem como algo que os interligue de forma a que estes atuem conforme o desejado. Assim, para que estes possam trocar informações entre si, surgem diferentes protocolos de comunicação, tais como, *Profibus*, *DeviceNet*, *Profinet*, Modbus, entre outros, cada um com as suas características. Estes protocolos devem então ser escolhidos conforme a necessidade em questão. Para a aplicação desenvolvida foi utilizado o protocolo Modbus e as suas características são abordadas a seguir.

3.2.1 Modbus

O protocolo de comunicação Modbus, desenvolvido em 1979 pela *Modicon*, é utilizado em sistemas de automação industrial possibilitando a comunicação entre dispositivos eletrónicos, com base numa arquitetura cliente-servidor. É um protocolo totalmente aberto e funciona como uma "linguagem universal", permitindo assim a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes [46].

O Modbus é um protocolo inserido na camada de aplicação do modelo OSI. É um protocolo de pedido/resposta que pode ser implementado em diferentes barramentos ou topologias de rede, como por exemplo RS-232, RS-485, *Ethernet*, entre outros. A comunicação entre os dispositivos é sempre iniciada pelo cliente, sendo que cada servidor possui um endereço de identificação distinto. Assim sendo, o cliente envia o pedido (que pode ser de leitura ou escrita) e aguarda a resposta do respetivo servidor. O Modbus permite o envio de dados discretos (entradas e saídas digitais) e numéricos (entradas e saídas analógicas) [47].

Na prática, os servidores possuem áreas de memória que os clientes podem aceder para ler e/ou escrever, recorrendo a pedidos específicos. Na Figura 24 observam-se estas memórias e na Tabela 12 alguns tipos de pedidos (cada tipo de pedido é definido pelo código da função) bem como a sua finalidade.

Primary tables	Object type	Type of	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

Figura 24 – Tipos de memória Modbus *[48]*.

Da análise da Figura 24, observa-se que as diferentes áreas são designadas por *coils* (saídas digitais), *discrete inputs* (entradas digitais), *holding registers* (saídas analógicas) e *input registers* (entradas analógicas). As saídas apenas se podem ler, enquanto que as entradas se podem ler e escrever. Os valores dos *inputs/output*s digitais estão guardados em registos de 1 *bit*, enquanto que os analógicos estão guardados em registos de 16 *bits* (*words*).

Tabela 12 – Tabela resumo com os códigos da função e respetiva finalidade *[49]*.

Código da Função	Descrição
1	Leitura das saídas digitais
2	Leitura das entradas digitais
3	Leitura dos registos de Holding
4	Leitura dos registos de entrada
5	Escrita de uma saída digital específica
6	Escrita de um registo de Holding
15	Escrita de várias saídas digitais
16	Escrita de vários registos

Assim, a cada pedido efetuado por um cliente, deverá corresponder uma resposta do respetivo servidor, a qual identifica se o pedido foi bem-sucedido assim como a informação requerida. Na Figura 25, é apresentado um exemplo de uma comunicação executada com sucesso. O cliente envia uma solicitação (código da função e os seus dados) e esta é processada pelo servidor, que por sua vez, responde com uma mensagem de confirmação (o mesmo código da função e os dados da resposta).

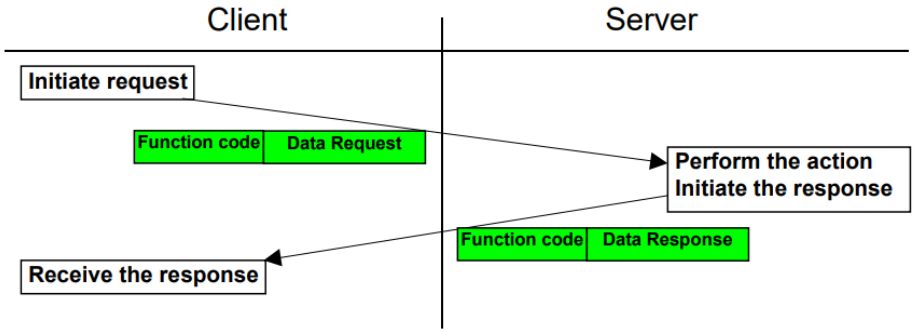


Figura 25 – Comunicação entre cliente-servidor sem erro *[48]*.

Por outro lado, quando é detetado algum erro na comunicação, como por exemplo, uma área de memória de um respetivo comando não exista naquele servidor, este responde ao pedido com uma mensagem de erro, como se observa na Figura 26.

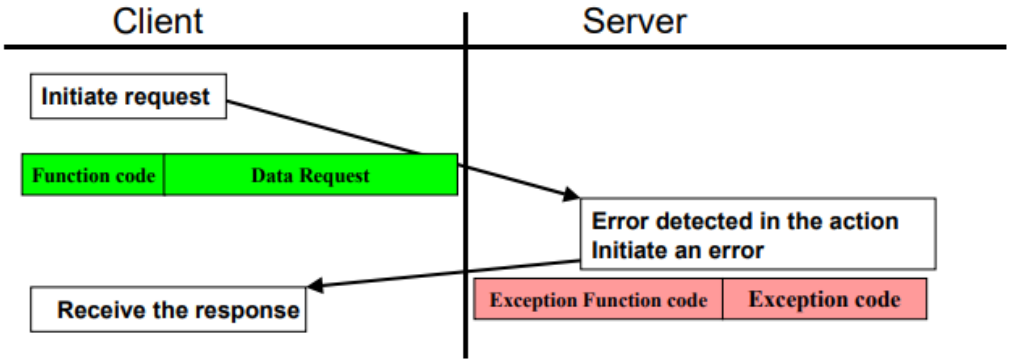


Figura 26 – Comunicação entre cliente-servidor com erro *[48]*.

Por fim, podem ocorrer erros de configurações, como por exemplo, erros de endereçamento de dispositivos (como ler do dispositivo 2, mas o mesmo estar configurado como sendo o dispositivo 4), erros de configuração de velocidades (como a rede configurada a 19,2 kbps e o equipamento a 9,6 kbps), ou até mesmo problemas físicos, como a quebra de um cabo de comunicação. Nos casos mencionados, o servidor estará indisponível para responder a qualquer solicitação do cliente, pois o mesmo não receberá o pedido. Assim sendo, entra em execução o *timeout* no cliente, ou seja, sempre que é solicitado qualquer informação pelo cliente, este inicia a contagem do *timeout* e se não receber nenhuma resposta nesse período, deteta que o servidor não responde podendo tomar alguma decisão.

Este protocolo pode ser dividido em diferentes tipos, contudo os mais frequentes são o Modbus em série, que se divide em dois modos de transmissão: o *Remote Terminal Unit* (RTU) e o *American Standard Code for Information Interface* (ASCII) e o Modbus *Transmission Control Protocol* (TCP) que utiliza uma rede *Ethernet* para o efeito [47].

- **Modbus RTU** – modo de transmissão que é incorporado na comunicação série e é utilizado quando a informação é transmitida em formato binário;
- **Modbus ASCII** – modo também utilizado na comunicação série, sendo que a diferença com o modo anterior é na codificação da mensagem, que altera do formato binário para a codificação ASCII;
- **Modbus TCP** – modo que assenta na transmissão TCP/IP, tal como o seu nome indica, onde os dados são convertidos em formato binário em tramas TCP para utilização na *Ethernet*.

3.2.2.1 Modbus RTU e ASCII

O protocolo Modbus série é um protocolo cliente-servidor e apenas existe um cliente ligado ao barramento simultaneamente. Quanto ao servidor, dependendo da interface física que se esteja a utilizar, pode estar um ou mais ligados simultaneamente.

Estes modos podem usar vários tipos de interfaces, como é o caso do RS-232 e do RS-485. No primeiro mencionado, RS-232, a comunicação é ponto a ponto, logo só existe um cliente e um servidor, já na interface RS-485 mantém-se um cliente, contudo existe a possibilidade de ter vários servidores [50].

A comunicação é sempre iniciada pelo cliente, logo caso os servidores não recebam nenhum pedido estes nunca vão transmitir dados. O cliente pode solicitar informação de qualquer servidor utilizando os seguintes modos:

- **modo *unicast* -** o cliente envia o pedido a um determinado servidor, o qual irá responder depois de receber e processar o pedido, Figura 27;

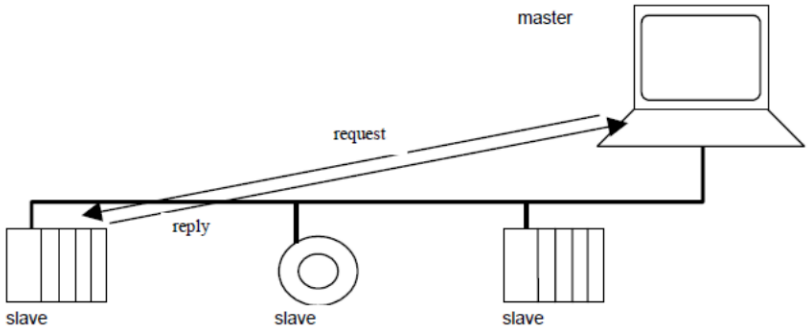


Figura 27 – Modo *unicast* *[51]*.

- **modo *broadcast* -** o cliente envia um pedido a todos os servidores, estes recebem e processam o pedido, mas não respondem ao cliente, Figura 28.

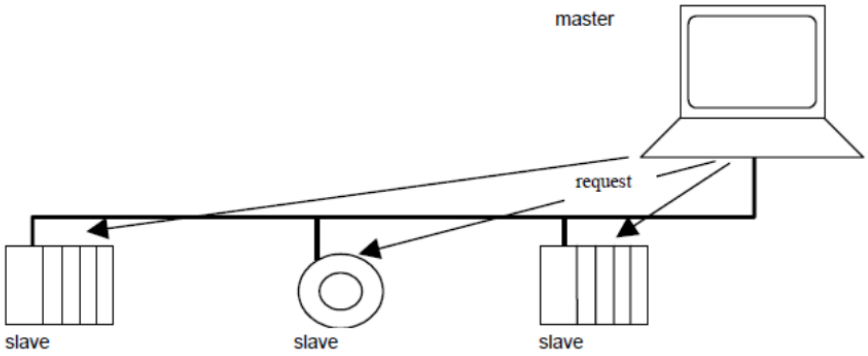


Figura 28 – Modo *broadcast* *[51]*.

A construção da mensagem do protocolo Modbus num determinado meio físico é construída através da adição de campos ao *Protocol Data Unit* (PDU), como se pode observar na Figura 29. Assim, para iniciar a comunicação com um dado servidor, o cliente adiciona ao PDU dois campos, um com o endereço do servidor com o qual pretende comunicar e o outro para a deteção de erros [47].

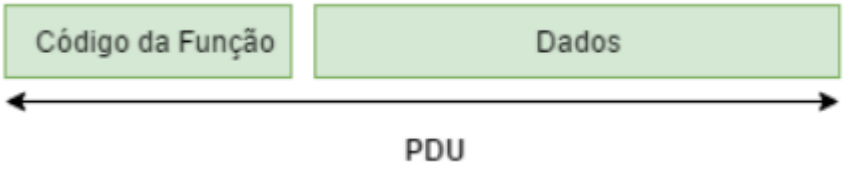


Figura 29 – Modbus PDU *[47]*.

No Modbus RTU, cada *byte* (8 *bits*) numa mensagem contém dois caracteres hexadecimais. Para a deteção dos erros, este modo utiliza o método de deteção de erros *Cyclic Redundancy Check* (CRC). Uma vantagem deste modo é a maior densidade de dados permitida para a mesma velocidade de transmissão [47]. Na Figura 30 está representado o formato da *frame* para este modo.

Figura 30 – Formato de uma *frame* no Modbus RTU *[47]*.

No modo ASCII cada *byte* numa mensagem é transmitido através de dois caracteres ASCII. As mensagens são delimitadas pelos caracteres *Start-of-frames* e *End-of-frames* e a deteção de erros é efetuada pelo método de deteção de erros *Longitudinal Redundancy Check* (LRC). A vantagem deste modo é a possibilidade de interpretação dos *bytes* nas mensagens [47]. O formato da *frame* deste modo está representado na Figura 31.

Figura 31 – Formato de uma *frame* no Modbus ASCII *[47]*.

3.2.1.2 Modbus TCP

O protocolo Modbus TCP, também designado por Modbus TCP/IP, surgiu para aumentar o desempenho do protocolo Modbus. Foi desenvolvido de forma a utilizar a *Ethernet* como meio físico, aproveitando assim as vantagens do TCP/IP sobre *Ethernet* [47].

Tal como referido anteriormente, a construção da mensagem deste protocolo num determinado meio físico é construída com a adição de campos ao PDU. Neste caso, para o Modbus TCP é acrescentado um campo específico, *Modbus Application Protocol* (MBAP), visível na Figura 32. Neste modo não é utilizada a verificação de erros, como é o caso do CRC no Modbus RTU ou o LRC no Modbus ASCII, esta verificação é assegurada pelos protocolos TCP/IP e *Ethernet* [47].

Figura 32 – Formato de uma *frame* Modbus TCP *[47]*.

No Modbus TCP, um equipamento pode ser simultaneamente cliente e servidor, sendo possível existir mais do que um cliente na rede. Um cliente ligado na rede *Ethernet* pode comunicar com qualquer servidor ligado em qualquer lugar do sistema, quer seja ligado também por *Ethernet* ou ligado num barramento série [47].

Numa rede *Ethernet* o número de clientes e servidores depende das características dos equipamentos. Nesta rede é possível haver mais do que uma comunicação em simultâneo. É ainda possível, no caso de dois equipamentos terem as características de cliente e servidor, existirem duas comunicações em curso simultaneamente entre estes [47].

3.3 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os equipamentos utilizados na aplicação desenvolvida, bem como as suas especificações que permitiram a compreensão do seu funcionamento. Adicionalmente, foi também apresentado o protocolo de comunicação Modbus.

A escolha deste protocolo teve como base as características dos módulos utilizados bem como do protocolo. Este é um protocolo totalmente aberto, ou seja, funciona como uma "linguagem universal", permitindo assim a comunicação entre os dispositivos dos diferentes fabricantes.

4 APLICAÇÃO DESENVOLVIDA – SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Durante o período do estágio na empresa foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação para monitorizar/controlar o sistema de climatização existente no departamento comercial através de uma UTA, assim como a recolha dos dados relativos à temperatura e humidade da sala do servidor. Essa aplicação foi desenvolvida para uma HMI da *Weintek*, usando o *EasyBuilder Pro*, *software* da própria marca. A aquisição dos dados e os comandos de controlo foram implementados através dos módulos da *Advantech.*

Neste capítulo são abordados diversos tópicos, nomeadamente conceitos relacionados com a UTA, a configuração de um módulo da *Advantech* e a aplicação em si.

4.1 Arquitetura da Rede de Comunicações

Todos os equipamentos encontram-se ligados a uma rede privada da empresa, de duas formas distintas tendo em conta as suas características. Da análise da Figura 33 verifica-se que a HMI, o ADAM-6060 e o WISE-4010/LAN estão ligados através de cabo *Ethernet* a um *switch* que está ligado à rede, os quais se encontram no quadro elétrico junto à UTA, enquanto que o WISE-4012 presente no departamento comercial e o WISE-4220 instalado na sala do servidor estão ligados por *wireless*. Todos os equipamentos estão na mesma gama de endereços, para garantir o sucesso da comunicação.

Para a aplicação descrita os módulos utilizados comunicam pelo protocolo Modbus TCP/IP, funcionando a HMI como cliente e os restantes módulos como servidores.

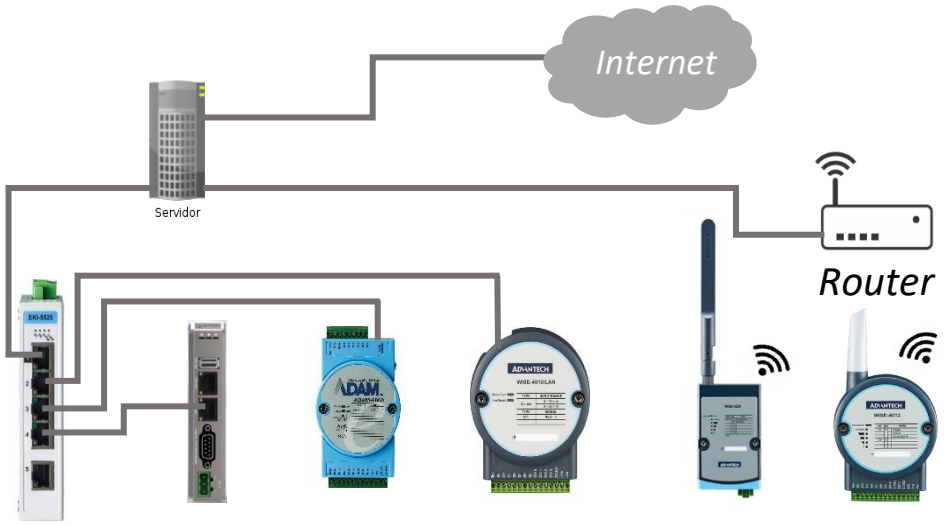


Figura 33 – Esquema de ligação dos equipamentos utilizados na aplicação desenvolvida.

A UTA é controlada através de dois módulos: o ADAM-6060 é utilizado para verificar a eficiência dos filtros e para controlar as diferentes velocidades dos ventiladores enquanto que o WISE-4010/LAN tem como função a leitura das temperaturas nas condutas, o controlo do

estado das resistências bem como a abertura do módulo de mistura. Para medir os valores de temperatura, humidade e CO_2 no departamento comercial foi utilizado um módulo da Jumo, o qual está ligado a um WISE-4012 e para fazer a recolha da temperatura e da humidade da sala do servidor recorreu-se a um WISE-4220.

4.2 Unidade de Tratamento de Ar

Uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) é usada para condicionamento e circulação de ar num sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Normalmente, estas unidades estão ligadas a uma rede de condutas que distribui e recolhe o ar do espaço a ventilar. Nestas unidades existe a possibilidade de recircular o ar que volta do espaço a ventilar, evitando assim a utilização de equipamentos adicionais, por exemplo, reaproveitar algum ar quente em vez de ligar uma resistência [52].

Um equipamento semelhante a uma UTA é uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN), onde não há recirculação do ar, ou seja, o ar que chega ao espaço a ser ventilado é totalmente proveniente do exterior. Estas unidades, geralmente possuem duas condutas, a de extração e a de insuflação [52].

As UTAs são essenciais para filtrar e abastecer ar limpo em espaços fechados, proporcionando uma qualidade do ar ideal, reduzindo assim possíveis riscos para a saúde. Na Figura 34, encontram-se representados os principais componentes de uma UTA.

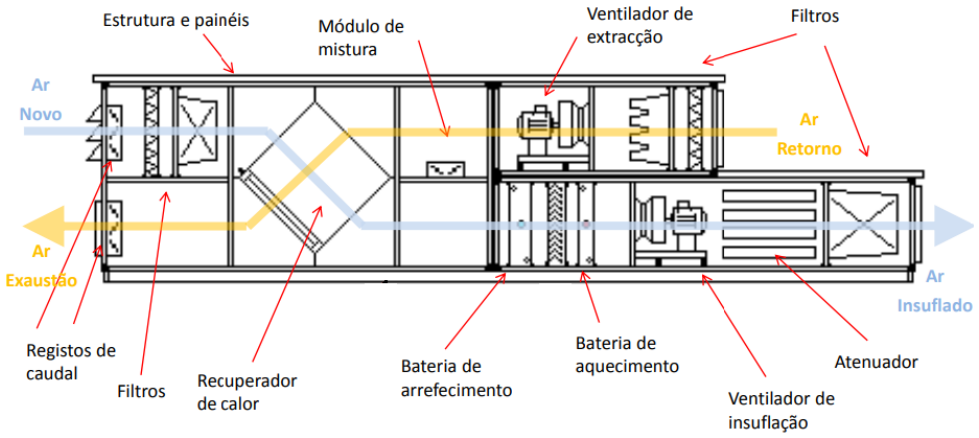


Figura 34 – Principais constituintes de uma UTA. Adaptado de *[53]*.

4.2.1 Função dos componentes de uma UTA

Uma UTA, tal como referido anteriormente, consiste num conjunto de vários componentes, cada um com a sua funcionalidade, de entre eles refiram-se os seguintes [54]:

Secção de entrada de ar

Ponto de entrada do ar no equipamento, com proteção de uma grelha com o objetivo de evitar a entrada de água e de partículas sólidas de maior dimensão.

Filtros

Os filtros são utilizados para fornecer ao local ar limpo com ausência de partículas. Estes devem ser trocados assim que estejam saturados, pois podem comprometer a eficácia do sistema. Para verificar o estado destes, é medida a pressão antes e depois do filtro, se a diferença de pressão for demasiada alta o filtro está entupido e precisa de ser substituído [55].

Podem ser utilizados filtros eletrostáticos ou filtros de absorção de partículas de alta eficiência *High Efficiency Particulate Arrestance* (HEPA). Os filtros eletrostáticos são usados para remover as partículas existentes no ar através de elétrodos carregados com potenciais elevados, que ionizam o ar. Relativamente aos filtros HEPA, estes são usados para remover pequenas partículas e bactérias do ar, apresentando uma eficácia de até 99,97 % para partículas com tamanho superior a 0,3 μm [56] - [57].

Baterias de Aquecimento e Arrefecimento

A principal função destes componentes é regular a temperatura do ar de insuflação, sendo por isso "imersos" no fluxo de ar que passa na UTA. Estes podem ser de diferentes tipos, como se observa na Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação das baterias de aquecimento e arrefecimento *[54]*.

Aquecimento	Água
	Eletricidade
Arrefecimento	Água
	Expansão direta

- **Baterias de aquecimento e arrefecimento a água**

As baterias de aquecimento e arrefecimento a água podem ser também designadas de permutadores de calor e são constituídas por feixes de tubos de cobre dispostos em serpentina e revestidos com alhetas de alumínio, com o objetivo de aumentar a área de transferência de calor, levando a um aumento do seu rendimento.

A utilização das baterias de aquecimento e arrefecimento destinam-se, respetivamente, a elevar ou diminuir a temperatura do ar de insuflação, diretamente aspirado do exterior. Nas baterias de aquecimento, o ar é aquecido pela circulação de água quente no interior da serpentina do permutador, originada através de um gerador de calor, como por exemplo uma bomba de calor ou uma caldeira. No caso das baterias de arrefecimento, o ar é arrefecido pela circulação de água fria no interior do permutador, sendo esta produzida por uma unidade vulgarmente designada por *Chiller*.

- **Bateria de aquecimento por resistência elétrica**

Estas baterias são compostas por resistências elétricas em cromoníquel e alhetadas com lâminas de alumínio, de forma a aumentar a taxa de transferência de calor, e são dispostas numa

estrutura de chapa de aço galvanizado ou aço inoxidável. Normalmente, junto destas baterias é montado um termostato de segurança destinado à proteção das mesmas.

A fonte de alimentação utilizada nestes equipamentos pode ser monofásica ou trifásica, dependendo da potência requerida. O ar é aquecido pelo efeito de *Joule*, que é provocado pelo aquecimento das resistências decorrente da passagem de corrente elétrica pelas mesmas.

- **Baterias de arrefecimento por expansão direta**

Relativamente a estes equipamentos, estes são idênticos às baterias a água, sendo que neste caso o fluído é um gás refrigerante. Habitualmente é usado o R134A (1,1,1,2 – Tetrafluoroetano) o qual tem potencial nulo na destruição da camada de ozono, não sendo nem inflamável nem explosivo ou o R22 (Monoclorodifluormetano) o qual é usado em refrigeração de ar em edifícios residenciais e comerciais, bem como em fábricas de produtos alimentares congelados.

Ventilador

Dispositivo utilizado para movimentar o ar, podendo este operar com diferentes velocidades permitindo assim que haja uma circulação de ar com diferentes porções. Normalmente é composto por:

- **elemento rotativo -** componente do ventilador que gira em torno de seu próprio eixo de rotação;
- **suporte -** componente estrutural que fixa e estabiliza o elemento rotativo;
- **motor** - componente que aciona o ventilador, podendo a transmissão ser direta ou indireta, como por exemplo através de uma correia.

Os ventiladores, ilustrados na Figura 35, podem ser classificados de acordo com a trajetória do ar, em:

- **centrífugos** - quando o ar entra com uma direção paralela ao eixo de rotação e sai com uma direção perpendicular a este;
- **axiais** - quando o ar entra e sai com uma direção paralela ao eixo de rotação.

Figura 35 – Exemplo de um ventilador centrífugo (transmissão direta) (esquerda) *[58]* **e ventilador axial (transmissão através de correia) (direita)** *[59]***.**

Registos de caudal de ar

Dispositivos compostos por lâminas metálicas que controlam os caudais de ar novo, ar de retorno e ar de exaustão. Movem-se por ação mecânica alterando a sua posição, o que faz com

que a secção de passagem de ar varie, fazendo a correção das misturas de ar quando necessárias, minimizando dessa forma o consumo de energia.

Módulo de mistura

A caixa de mistura é o local onde se efetua a recirculação do ar, ou seja, onde se faz a mistura do ar novo com parte do ar de retorno.

Este processo pode reduzir o consumo de energia, uma vez que o ar insuflado já está nas condições de temperatura e humidade relativa pretendidas, sendo apenas necessário aquecer ou arrefecer o ar novo a insuflar para as condições de utilização pretendidas e corrigir pequenos parâmetros no ar de retorno.

Recuperador de calor

Através do recuperador de calor, representado na Figura 36, é possível reaproveitar o potencial energético do ar de exaustão, que se perderia para o exterior, permitindo assim que a energia térmica deste seja transferida para o ar novo.

Figura 36 – Recuperador de calor *[54]*.

Os recuperadores de calor podem dividir-se em:

- **Recuperador de placas com fluxos cruzados**

Unidade de recuperação de calor tipo ar-ar, construída por um permutador em chapa de alumínio e suportada também numa estrutura deste material. Neste caso não há contacto direto entre os fluxos de ar, a transferência de calor é realizada em contracorrente através da parede de alumínio. Nestes sistemas a eficiência pode tomar valores entre 50-70 %.

- **Recuperador de calor ar-água-ar ou ar-gás refrigerante-ar**

No recuperador de calor ar-água-ar existe uma série de serpentinas interligadas através de um circuito de água independente com uma bomba de água que garante o enchimento destas. A troca de calor é efetuada recorrendo ao sistema ar-água-ar. O sistema é prejudicado pela perda de carga existente no circuito de água, apresentando assim um rendimento entre 40 a 60 %.

No caso ar-gás refrigerante-ar, o sistema é semelhante ao referido anteriormente, somente modifica o fluído de transporte de calor. Neste processo a transferência de calor resulta do ciclo de mudança de fase do gás refrigerante.

- **Recuperador de calor rotativo**

Este recuperador de calor é constituído por um tambor rotativo, acionado por um motor elétrico de velocidade variável. O tambor divide-se em duas partes, sendo uma delas atravessada pelo

ar de extração e a outra pelo ar novo. Como o tambor está em constante movimento, o calor extraído é conduzido para o ar novo através da mistura de caudais. O rendimento deste pode variar entre 60 a 80 %.

Humidificadores

Os humidificadores servem para manter o nível recomendado de humidade do ar. Podem ser utilizados humidificadores de diversos tipos, tais como:

- **evaporativos -** um sopro de ar seco em cima de um reservatório de água irá fazer com que parte desta evapore. A taxa de evaporação poderá ser aumentada através da pulverização de água no fluxo de ar;
- **vaporizadores -** o vapor de uma caldeira é diretamente soprado para o fluxo de ar através de um tubo de aço galvanizado;
- **pulverizadores -** a água é pulverizada através de um meio mecânico, por exemplo um bico, em gotículas que serão posteriormente transportadas pelo ar;
- **ultrassónicos -** numa corrente de ar, a água fria de um tabuleiro é excitada através de um fluxo de ultrassons, formando uma névoa;
- **meio molhado** - num fluxo de ar, um meio de fibras finas é mantido húmido através de um tubo com pequenos furos. À medida que o ar atravessa o meio molhado, arrasta a água sob a forma de gotículas. Este tipo de humidificador pode ficar entupido facilmente se o ar não for devidamente filtrado.

Silenciadores

São juntas flexíveis que são colocadas nas tubagens antes e após a UTA e têm como função a eliminação de vibrações e do ruído provocados pelos ventiladores e pela circulação do ar.

4.2.2 Caracterização da UTA – F. Fonseca

Para fazer a programação da aplicação foi necessário conhecer as características da UTA em questão. A UTA da F. Fonseca é constituída por:

- dois ventiladores, podendo cada um operar com três velocidades diferentes para fazer a movimentação do ar;
- três resistências, que funcionam como elementos de aquecimento;
- dois filtros, para filtrar o ar e apenas fornecer ar limpo;
- módulo de mistura com uma abertura regulável de forma a controlar o ar que será recolhido/enviado para o exterior.

Todos estes componentes estão dentro de uma caixa metálica em que apenas se observam as condutas por onde circula o ar, duas que estão ligadas ao exterior para recolher/enviar ar e duas que estão ligadas ao departamento comercial para o mesmo efeito. Cada conduta, à saída da UTA tem uma sonda de temperatura, uma Pt100, para medir o respetivo valor de temperatura.

4.3 Configuração de um Módulo *Advantech* – WISE-4012

A configuração dos módulos da *Advantech* é efetuada através do *software* da própria marca, o *AdamApax .NET Utility*, contudo esta configuração pode ser também efetuada através de um *browser* com o endereço IP do módulo, caso as características do mesmo o permitam.

Os módulos da série ADAM-6000 são configurados a partir do *software*, já os da série WISE-4000 podem ser configurados das duas formas referidas acima, sendo que o IP padrão é "10.0.0.1" para os módulos que são ligados por cabo e "192.168.1.1" para os módulos com ligação sem fios.

A configuração dos equipamentos por cabo é feita através da ligação do módulo a um computador por cabo *Ethernet*, em que o endereço IP do mesmo tem de estar na mesma gama de IP padrão do módulo. Caso o módulo já tenha um endereço atribuído, o computador tem de estar na gama desse mesmo endereço IP para se conseguir proceder às configurações.

Os módulos que são ligados à rede por ligação sem fios, operam em dois modos distintos: o modo inicial e o modo normal. Assim, para conectar um destes módulos à rede pela primeira vez ativa-se o modo inicial através de um interruptor, localizado na parte traseira deste, no qual é criada uma rede *wireless* que permite a ligação ao módulo. Acedendo a esta rede, a partir de um *browser* é possível fazer a sua configuração, através do seu endereço IP padrão ("192.168.1.1"). Nesta configuração destacam-se os parâmetros do módulo, entre os quais as entradas/saídas, o endereço IP e a rede a que o módulo se irá ligar após a passagem do módulo para o modo normal. Para estes módulos, a configuração também pode ser realizada através do *software*, sendo que o procedimento é igual ao efetuado usando um browser.

Na Figura 37, recorrendo ao *software* mencionado, *AdamApax .NET Utility* são visíveis os módulos da *Advantech* que se encontram ligados à rede.

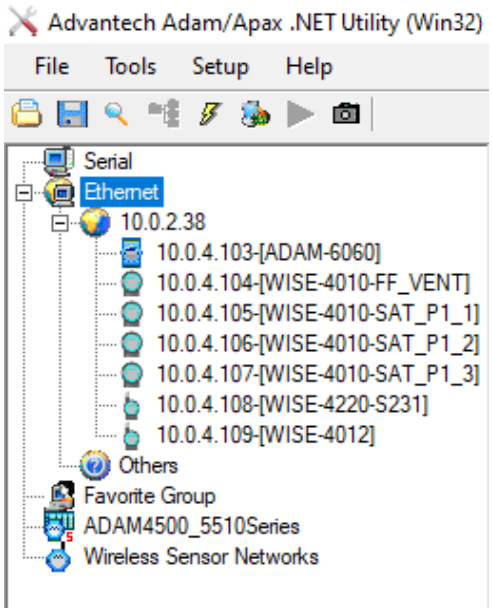


Figura 37 – Visualização dos módulos da *Advantech* ligados à rede usando o *software AdamApax .NET Utility*.

Assim, atendendo às características de cada módulo é possível fazer as suas configurações conforme a sua funcionalidade. Como exemplo deste procedimento, efetuou-se a configuração do WISE-4012, que tem acoplado o módulo da Jumo permitindo assim medir os valores da temperatura, humidade relativa e o teor de CO_2.

Na Figura 38 observam-se os parâmetros necessários para proceder à configuração das entradas do WISE-4012.

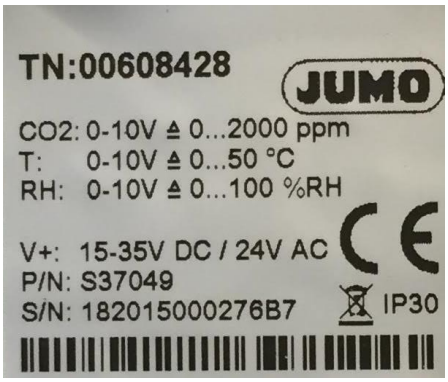
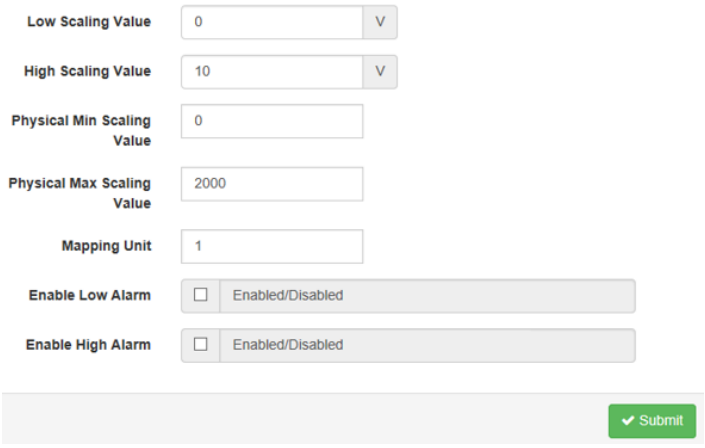
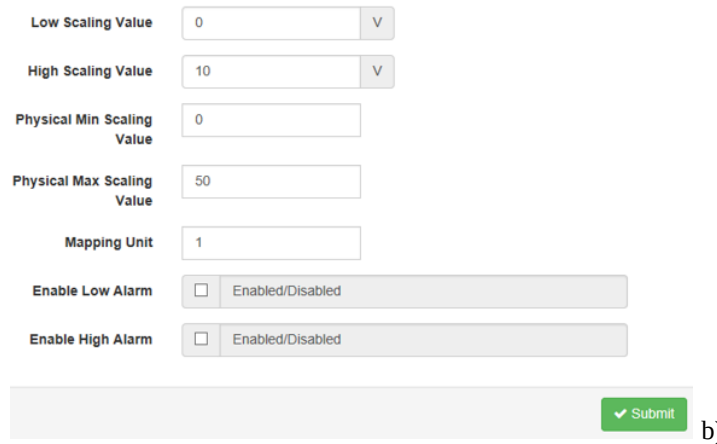


Figura 38 – Parâmetros do módulo da Jumo necessários para configurar o WISE-4012.

Tal como já referido anteriormente, as saídas do módulo da Jumo foram ligadas às entradas do WISE-4012 e o mesmo foi configurado com os respetivos parâmetros.



a)



b)

Figura 39 – Parâmetros de configuração de duas entradas do WISE-4012: a) teor de CO_2 (ppm) e b) valor de temperatura (°C).

A configuração dos parâmetros (para teor de CO_2 e para valor de temperatura) é visível na Figura 39. De igual forma foi realizada a configuração para o valor da humidade relativa do ar.

Para além das configurações já mencionadas, o *software* disponibiliza outras informações e funcionalidades, como por exemplo, os endereços de configuração do Modbus, como mostra na Figura 40, necessários para a comunicação entre a HMI e o respetivo módulo assim como o valor do estado das suas entradas/saídas, entre outros.

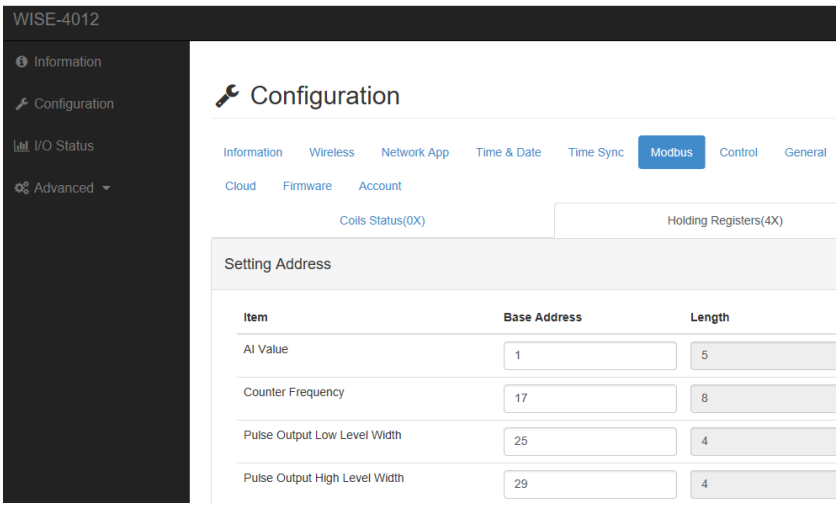


Figura 40 – Endereços de configuração Modbus do WISE-4012 - *AdamApax .NET Utility*.

Na Figura 41 observam-se os valores das entradas do WISE-4012, os quais são obtidos a partir do módulo da Jumo, bem como a possibilidade de verificação dos valores máximos e mínimos já registados, obtenção de um gráfico com os mesmos e a criação de alarmes.

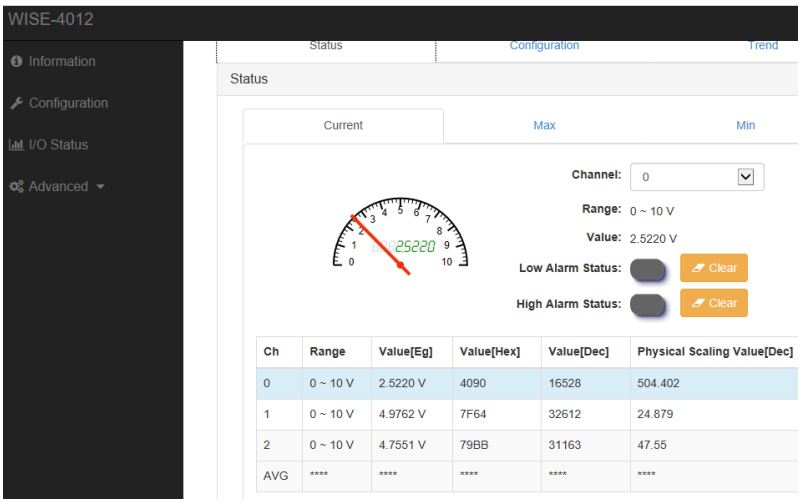


Figura 41 – Valores das entradas do WISE-4012 usando o software *AdamApax .NET Utility*.

4.4 Estrutura da Aplicação

No planeamento de uma aplicação deve-se ter em conta a organização dos ecrãs, de forma a que estes se tornem simples e intuitivos para os seus operadores. Normalmente, é recomendado o uso de uma organização hierárquica de navegação entre ecrãs, tendo em consideração a importância da visualização numa primeira instância, em ecrãs de nível superior, informação resumida e de fácil interpretação. Nos ecrãs de níveis mais inferiores informação representada deve ser mais pormenorizada. Na Figura 42 encontra-se um exemplo da estrutura de ecrãs que será implementado para a aplicação [1].

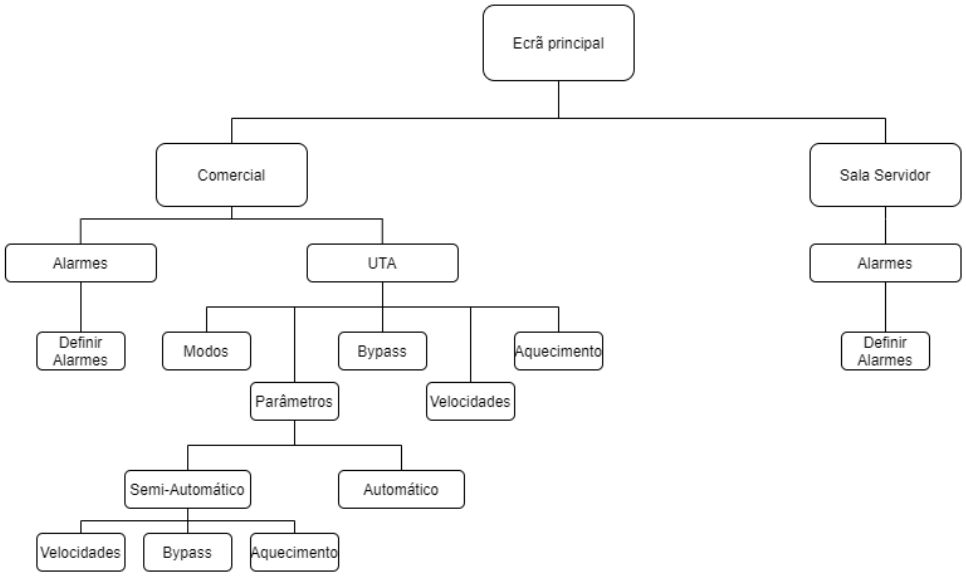


Figura 42 – Organização dos ecrãs da aplicação desenvolvida.

4.5 *Design* da Aplicação

Atualmente, as diversas aplicações existentes para computadores, *smartphones*, *tablets* podem servir de alguma inspiração no projeto de ecrãs para aplicações industriais, pois estas passam por ter grafismos idênticos a tantas outras que usamos todos os dias. O objetivo é tornar as aplicações desenvolvidas, para as mais diversas áreas, o mais intuitivas possível como é o caso das desenvolvidas para os computadores e *smartphones* [1].

No início de cada aplicação a desenvolver, o programador deve ter em conta o *design* da mesma, pois este irá facilitar a criação das diversas funcionalidades a implementar. O *design* deverá ter em conta as especificidades do cliente, assim como formas que identifiquem a empresa, nomeadamente a identidade visual da empresa, as suas cores representativas, o seu logótipo ou até o seu *slogan*, que poderão aparecer no seu cabeçalho ou rodapé caso existam ou num outro local específico. Caso o cliente não pretenda, a empresa criadora poderá preencher esses espaços com os seus próprios identificadores, caso lhe seja permitido pelo cliente [1].

É necessário realçar que um *design* apelativo motiva o operador e facilita a interação deste com o ambiente de trabalho de uma forma positiva, tornando a realização das tarefas mais eficiente

e conduzindo a uma redução dos tempos de paragem, proporcionando dessa forma uma maior rentabilidade [1].

Durante toda a programação da aplicação, devem ser respeitadas regras no que concerne organização do programa, à atribuição de nomes que identifiquem os botões conforme a sua utilidade. Para além disto todo o código desenvolvido deve ser comentado, as *tags* devem ser nomeadas conforme a sua função, para que seja mais percetível qualquer erro ou qualquer alteração de uma funcionalidade durante a fase de desenvolvimento da mesma.

4.6 Resumo da Aplicação

De uma forma sucinta, a aplicação desenvolvida permite avaliar a qualidade do ar de duas áreas distintas da empresa: sala do servidor e do departamento comercial, sendo que nesta última é possível controlar alguns parâmetros para se atingir as condições desejadas. Na sala do servidor foram realizadas medições dos parâmetros que influenciam o conforto térmico, entre os quais a temperatura e a humidade. No que concerne ao departamento comercial foram realizadas medições destes parâmetros (temperatura e humidade) bem como do teor de CO_2, que é um dos principais poluentes em espaços interiores em edifícios [60].

O CO_2 é um gás inodoro e incolor, sendo que a principal fonte de emissão é resultante do metabolismo humano e está diretamente relacionada com o tamanho corporal e com o nível de atividade física do indivíduo. As elevadas concentrações deste poluente podem originar sonolência, problemas respiratórios, dores de cabeça, fadiga e dificuldades de concentração [60].

Na Figura 43, está representado o ecrã com os valores de temperatura e humidade da sala do servidor, sendo possível observar os valores previamente registados nesse espaço num gráfico temporal. Estes valores podem ser enviados por *e-mail*, para o técnico responsável, através de um toque no botão presente no ecrã para esse efeito. Na aplicação desenvolvida é igualmente possível visualizar o estado dos alarmes, os quais serão abordados de seguida.

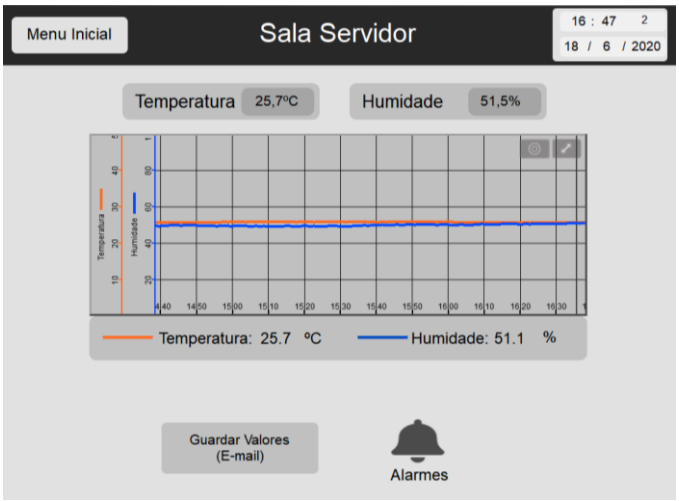


Figura 43 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente à sala do servidor.

Relativamente ao departamento comercial, ecrã na Figura 44, é possível observar os valores de temperatura, humidade e CO_2, assim como também o seu registo num gráfico temporal. Tal como referido no ecrã da sala do servidor, este apresenta o estado dos alarmes.

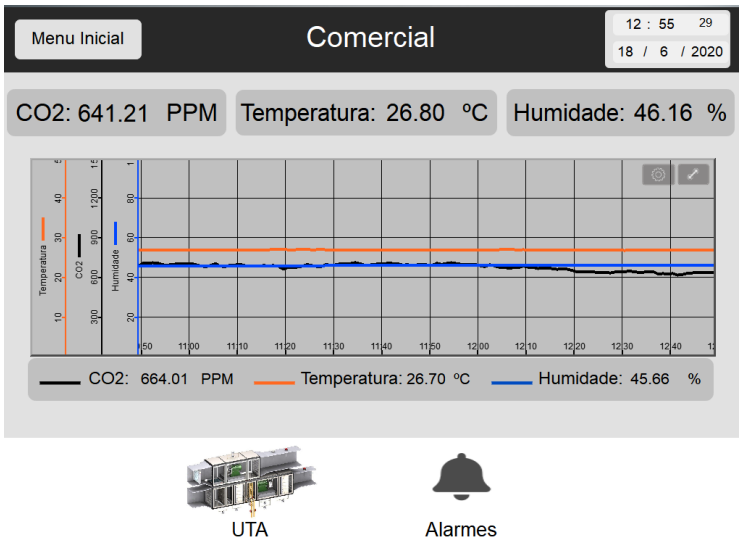


Figura 44 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente ao departamento comercial.

Nesta área foi possível controlar as condições de trabalho para que estas sejam ideais para os colaboradores ali presentes, controlando a UTA existente para esse espaço, como já referido. Para este controlo, num ecrã mais pormenorizado, Figura 45, pode-se escolher entre os quatro modos de operação:

modo manual - o operador pode controlar o estado da UTA a qualquer momento;

modo semiautomático - o operador escolhe os parâmetros deste modo, entre os quais, o seu horário de funcionamento, as velocidades de circulação do ar, o aquecimento e a quantidade de recolha do ar exterior;

modo automático - o operador estabelece os parâmetros ideais, e automaticamente a UTA é controlada para que estes valores sejam atingidos, caso possível;

modo de emergência - desativa todo o sistema ativo da UTA.

De notar o facto de neste ecrã também aparecer o ícone dos alarmes, pois é um elemento com nível prioritário.

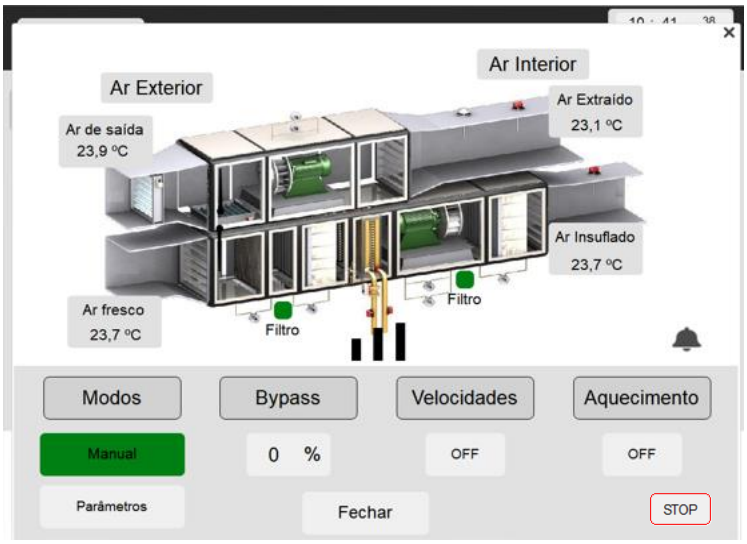


Figura 45 – Ecrã da aplicação desenvolvida referente à UTA.

Na Figura 46 observa-se o ecrã da aplicação referente à UTA, sendo que esta está em funcionamento no modo manual e com parâmetros definidos pelo operador. Estes parâmetros são mostrados com ícones representativos para uma fácil interpretação do operador.

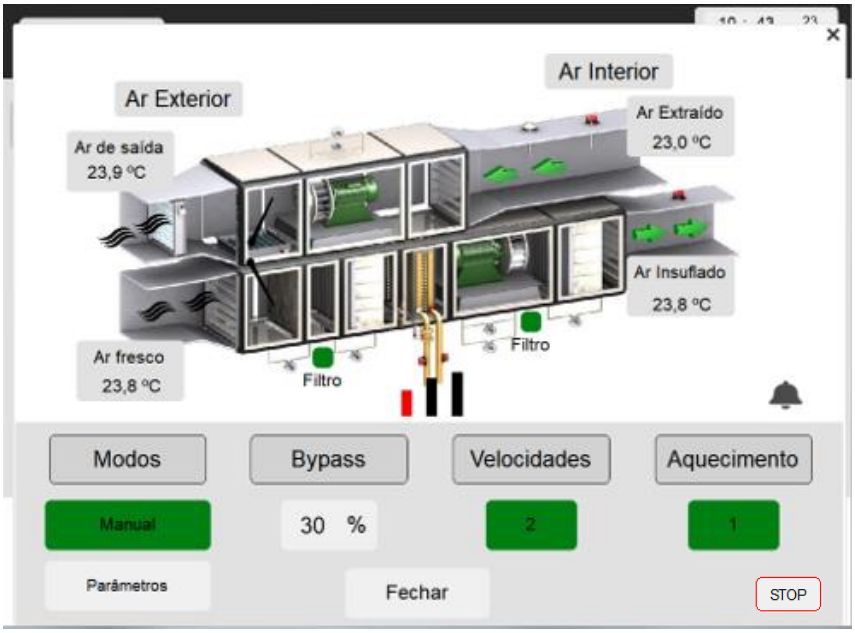


Figura 46 – Ecrã da aplicação desenvolvida refente à UTA (com parâmetros definidos).

De referir que para a alteração dos modos, dos parâmetros, do *bypass* (abertura do módulo de mistura para o exterior), da velocidade dos ventiladores e das resistências para o aquecimento, são exibidos *pop-ups* de forma a ser mais intuitivo para o operador.

Na Figura 47 encontra-se um exemplo destes *pop-ups*, neste caso para o valor do aquecimento do ar.

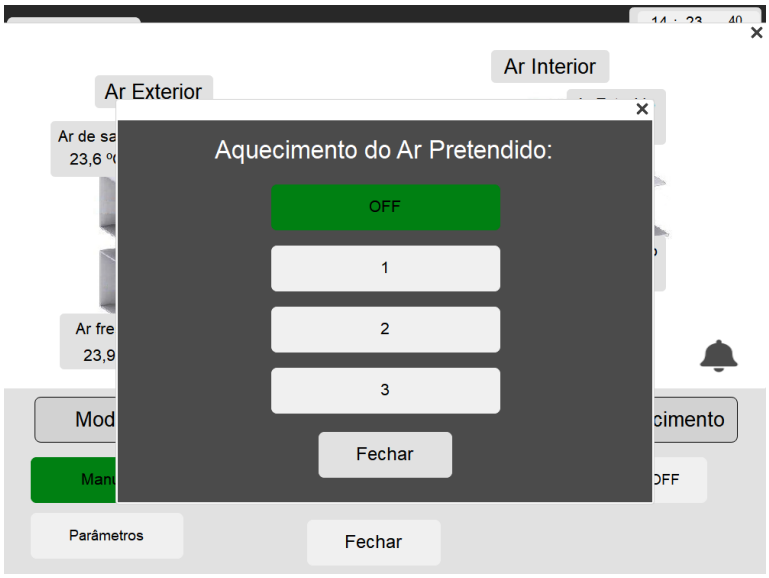


Figura 47 – Pop-up para alteração do valor do aquecimento do ar no modo manual para a aplicação desenvolvida.

Existe a possibilidade de definir alarmes para as duas áreas, tendo estes diferentes formas de notificação, tal como elementos ilustrativos no ecrã ou o envio de um *e-mail* ao técnico responsável ou a um grupo específico. Estes alarmes são baseados nos limites inferiores e superiores definidos pelo operador.

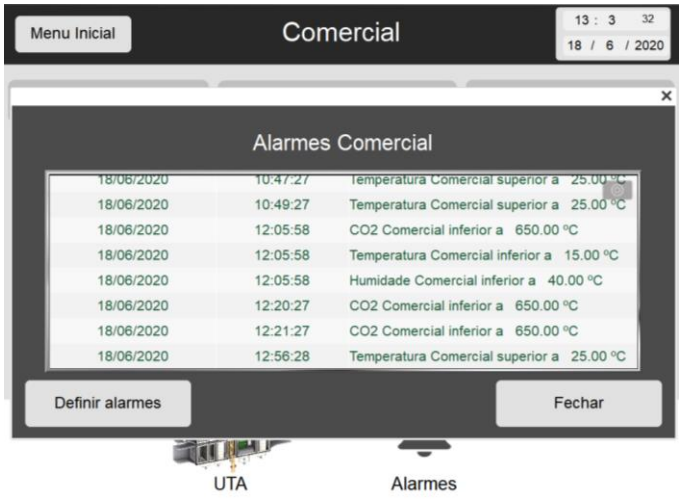


Figura 48 – Ecrã da aplicação desenvolvida com uma tabela dos alarmes ocorridos.

Na Figura 48, encontra-se representado o ecrã referido aos alarmes do departamento comercial, em que se observa uma tabela com todos os alarmes ativos ou que já foram ativados. Os alarmes podem ser alterados a partir de outro ecrã, como mostra a Figura 49.

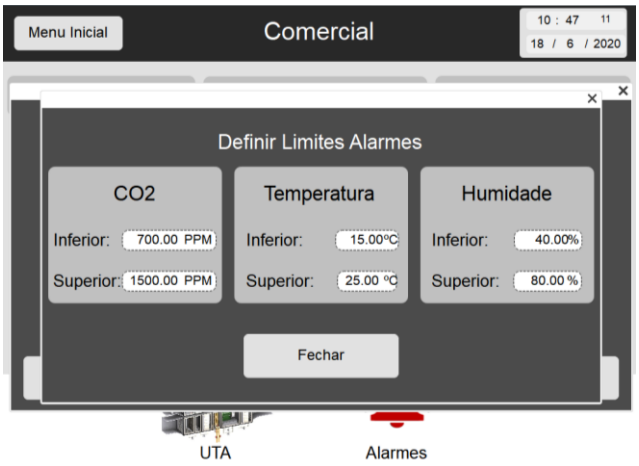


Figura 49 – Ecrã da aplicação desenvolvida para definir os alarmes para o departamento comercial.

Da análise da Figura 48 e da Figura 49, observa-se que na primeira não existem alarmes ativos, pois o símbolo dos alarmes está na sua cor normal (cinzento), já na segunda figura existe pelo menos um alarme ativo, pois o símbolo encontra-se a vermelho, alertando dessa forma o operador.

4.7 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram abordados diversos tópicos, onde se destacou a arquitetura da rede na qual se encontra um esquema das ligações dos diversos equipamentos utilizados bem como as diferentes formas de conexão.

Foi também apresentada uma definição geral de UTA bem como os seus principais componentes e suas funções. De forma a facilitar a compreensão dos módulos referidos no capítulo anterior foram destacados com detalhe os componentes da UTA da F.Fonseca.

Relativamente à aplicação desenvolvida, foi apresentada a estrutura e o *design* da mesma bem como um breve resumo desta.

5 OUTRAS ATIVIDADES

Neste capítulo serão abordadas algumas das atividades realizadas durante o estágio, entre as quais se destacam a análise/calibração de um equipamento de deteção de gás e uma aplicação desenvolvida em *Node-RED*. A F. Fonseca realiza a manutenção dos equipamentos que comercializa, nomeadamente da *Industrial Scientific* e da *Sewerin*. Neste capítulo será analisado o equipamento da *Industrial Scientific*, Ventis MX4.

Para além das atividades mencionadas foram realizadas outras atividades, designadamente a montagem de quadros elétricos, a assemblagem de computadores, o acompanhamento de trabalhos em clientes, bem como a observação e aprendizagem de várias tarefas do dia-a-dia.

5.1 Equipamentos de Deteção de Gases

Durante o estágio, o acompanhamento de vários processos, levou a um conhecimento de diversos equipamentos de deteção de gases. A análise do procedimento de vários equipamentos, desde a verificação à calibração, foi útil para uma melhor perceção do seu funcionamento bem como das características de cada modelo. O equipamento abordado é da *Industrial Scientific*.

Como referido anteriormente os equipamentos de deteção de gás são dispositivos cruciais na segurança dos seus utilizadores podendo mesmo salvar vidas. Assim sendo, é de extrema importância ter um equipamento de deteção de gases devidamente calibrado. Reconhecendo este facto, a *Industrial Scientific* recomenda a realização de um teste de resposta, *bump test*, em todos os equipamentos antes da sua utilização diária e pelo menos uma calibração completa do equipamento usando a concentração certificada de gás de calibração, com uma periodicidade mensal para garantir a máxima precisão dos seus equipamentos [16].

Um *bump test* é definido como uma breve exposição do equipamento a uma concentração de gás(es) conhecida, com o objetivo de verificar o estado dos sensores e dos alarmes. De realçar que este teste não melhora a funcionalidade ou o desempenho do equipamento e como tal não serve como uma medida de precisão, mas é considerado uma recomendação das melhores práticas para garantir as normas de segurança. No caso de um equipamento falhar neste teste, o mesmo deve realizar uma calibração completa antes de uma futura utilização [16].

A realização de um *bump test* [16] pressupõe as seguintes etapas:

- ligar o equipamento e deixá-lo aquecer;
- aplicar o gás de teste;
- permitir que os sensores respondam ao gás de teste;
- verificar o estado dos alarmes;
- remover o gás e esperar que os valores dos sensores sejam “limpos”.

Caso algum sensor não responda conforme, devem ser verificadas as possíveis causas, como:

- verificar se o cilindro de calibração ainda possui gás;
- verificar se a tubulação está colocada corretamente e se não está entupida;
- verificar se o sensor está corretamente ligado.

Caso o problema se mantenha (sensor não responder) o equipamento tem de ser removido de serviço sendo necessário executar uma calibração completa para verificar o seu estado.

5.1.1 Ventis MX4

O equipamento portátil Ventis MX4, da *Industrial Scientific*, possui duas possibilidades de medição: monitor de difusão para medir gases presentes em espaços abertos e monitor de aspiração para fazer medições em espaços confinados. Os dois modelos referidos estão representados na Figura 50, no entanto para realizar esta conversão apenas são necessários o módulo de bomba e os acessórios da bateria [16].

Figura 50 – Ventis MX4 difusão (esquerda) *[61]* **e Ventis MX4 aspiração (direita)** *[62]***.**

Este equipamento pode ter até quatro sensores instalados, entre os quais, um sensor de Oxigénio (O_2), um sensor combustível e dois sensores tóxicos, podendo medir até quatro gases específicos. Este equipamento é também equipado com um sistema de alarme multimodo (sonoro, visual e vibração), alarmes que podem ser editados pelo utilizador.

A manutenção destes equipamentos pode ser realizada de forma automática, utilizando uma *Docking Station*, visível na Figura 51, a qual para além de ser uma solução automática permite também o armazenamento de registos dos vários equipamentos. Todos estes dados recolhidos são agregados a uma interface, *iNet Control* auxiliando o responsável de segurança na gestão da frota assim como no conhecimento detalhado do que ocorre no terreno [16].

Figura 51 – *Docking Station da Industrial Scientific* *[63]*.

O *iNet Control*, da própria *Industrial Scientific*, é uma interface de utilizador que permite a gestão operacional e de segurança de diversos detetores de gases, a partir de um *browser*, através de qualquer computador bem como qualquer dispositivo móvel com acesso à internet. Assim, através deste *software* é possível fazer a análise de diversos parâmetros, tais como: aceder a relatórios dos testes de resposta e de calibrações, os quais são criados automaticamente; o estado dos alarmes, por tipo de gás e por utilizador bem como quando ocorreram e as durações dos mesmos; verificar possíveis não realizações dos testes regularmente; assim como agrupar por exemplo, em grupos diferentes dentro da mesma empresa, facilitando o controlo para o responsável de segurança [16].

5.1.2 Procedimentos da análise de um equipamento de deteção de gás

De um modo geral, os procedimentos são idênticos nos vários modelos e englobam três etapas, sendo elas:

- **verificação** - é verificado o estado físico dos vários componentes do equipamento, como por exemplo, as carcaças, os filtros e a bateria;
- **ajuste -** é efetuada uma calibração inicial para verificar o estado dos sensores. A calibração consiste na aplicação de concentrações conhecidas de gases de calibração no equipamento para verificar a resposta dos sensores ao contato com os mesmos, confirmando se os valores lidos (valores de *span*) indicados no *display* atingem os valores de *span* de referência; são também verificados os alarmes; é enviada a informação ao cliente do estado do seu equipamento bem como os componentes necessários para substituição, caso necessário;
- **calibração** - depois de obtida a resposta por parte do cliente, caso esta seja aceite é realizada uma reparação, caso necessária, uma calibração e emitido um certificado da calibração.

5.2 Aplicação da Termometria

De forma a manter organizados todos os processos relativos aos sensores de temperatura, estes são guardados numa base de dados da empresa, com os seus devidos parâmetros designadamente, a ordem de produção, as quantidades, data de entrega, cliente, entre outros. Para auxiliar a organização de todos os pedidos de produção no laboratório de termometria foi desenvolvida uma aplicação em *Node-RED*, onde todos os pedidos de produção destes sensores são agrupados numa tabela, de uma página web, onde se apresenta também um gráfico temporal com o número de sensores encomendados para entrega/mês bem como alguns parâmetros estatísticos.

5.2.1 *Node-RED*

O *Node-RED* é uma ferramenta de desenvolvimento *open source* baseada em fluxos e assente em *NodeJS*, escrita na linguagem de programação *JavaScript*. Esta ferramenta permite a edição de fluxos a partir de uma página *web* local (por omissão: http://localhost:1880) [64].

Foi desenvolvida pela *IBM's Emerging Technology Services* para estabelecer a comunicação entre dispositivos de *hardware*, API e serviços *online* como parte de IoT. O sistema contém nós representados por ícones apropriados, conforme a sua funcionalidade, e pode operar de duas formas diferentes: utilizando estes nós descritos conectando-os ou importar o código *JavaScript*. Os fluxos de nós criados são armazenados em JSON, podendo estes ser importados e exportados para compartilhamento com outras pessoas [64].

O *Node-RED* possui três componentes básicos, como representado na Figura 52:

- painel de nó;
- painel de fluxo;
- painel de informações e depuração.

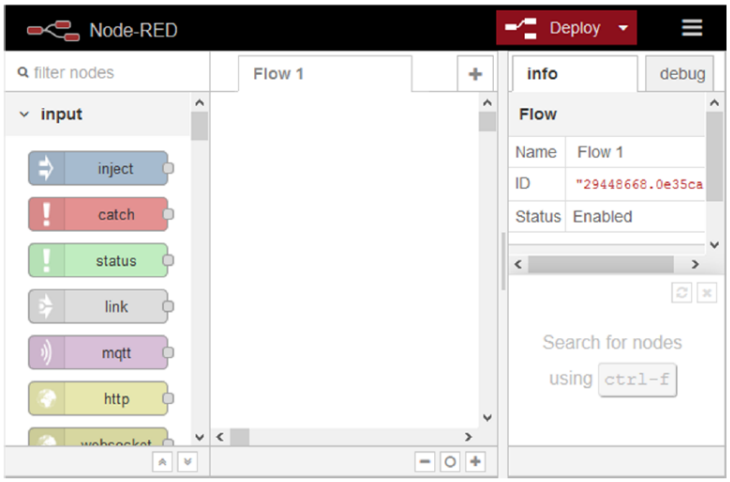


***Figura 52 – Editor Node -RED** [64].*

O *Node-RED* é uma ferramenta flexível e poderosa normalmente usada para criar protótipos, pois permite a criação rápida de aplicações, especialmente aplicações *IoT* possibilitando que os engenheiros e os técnicos simplesmente criem e configurem aplicações em tempo real nos dispositivos finais [64].

5.2.2 Alteração realizadas

A aplicação foi desenvolvida em conjunto com colaboradores da empresa, sendo que as tarefas do estagiário passaram por fazer algumas alterações na página *web*, como no seu *design*, na modificação da tabela bem como a adição de parâmetros estatísticos, como será visto posteriormente. A página *web*, antes das alterações realizadas, está representada na Figura 53, onde os pedidos se encontram com diferentes cores que significa o tempo que falta para a data de entrega das mesmas (onde podiam assumir três cores: verde, se a data de entrega for superior a cinco dias, amarelo se a data de entrega for igual ou superior ao dia atual e vermelho caso a data de entrega já tiver passado). Estava também representado um gráfico com o número de encomendas para cada mês, onde se observa uma linha, com valor de 680, que corresponde à capacidade máxima estimada da produção da termometria, para se compreender e analisar estes valores.

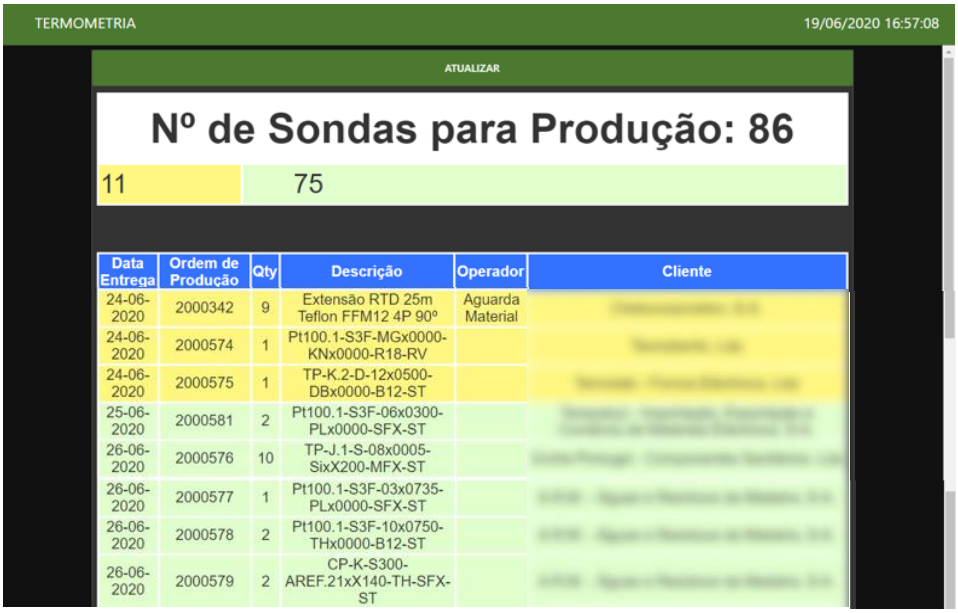


Figura 53 – Tabela da página *web* da aplicação para laboratório de termometria (antes das alterações).

A Figura 54 apresenta o editor *Node-RED* utilizado na aplicação, onde se observam os vários nós conectados. Cada nó é configurado/programado conforme a sua funcionalidade, como por exemplo, na Figura 55 é possível observar um exemplo de um nó programado em *JavaScript*.

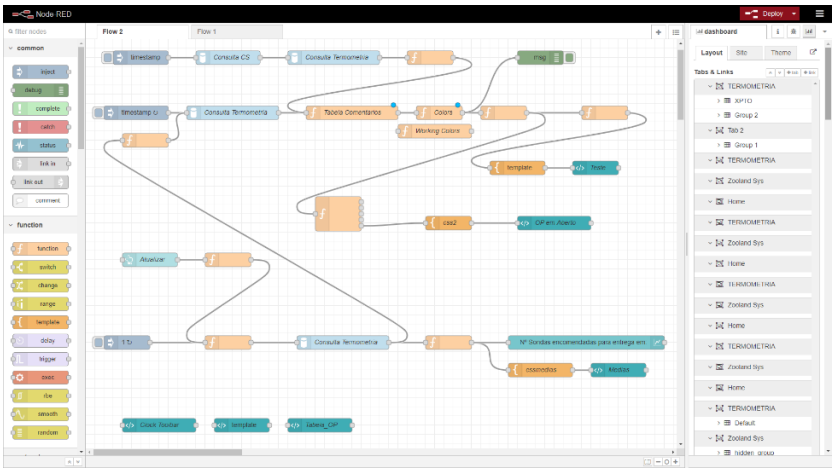


Figura 54 – Editor *Node -RED* utilizado para aplicação da termometria.

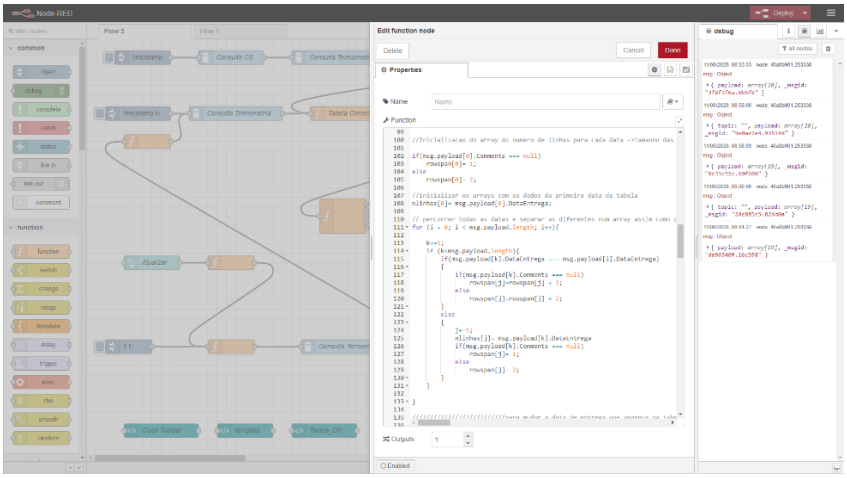


Figura 55 – Exemplo de um nó programado em *JavaScript* para aplicação da termometria.

Tal como foi referido, as tarefas do estagiário passaram por: alteração do *design*, onde se apresentou o *slogan* da empresa; quanto à tabela, foram agrupados os pedidos com a mesma data de entrega, onde é identificado o números de dias entre a data atual e a data de entrega (excluindo os dias de fim de semana), adicionar, caso exista, o parâmetro comentário a cada pedido e colocar os pedidos a cor azul caso tenham um determinado parâmetro diferente de zero; foram também adicionados alguns parâmetros estatísticos, sendo eles a média de sondas/dia do mês atual, do mês anterior e do ano anterior.

Na Figura 56 está representada a página com as alterações realizadas e na Figura 57 estão representados os dados estatísticos e o gráfico temporal das encomendas.

Data Entrega	Ordem de Produção	Qty	Descrição	Operador	Cliente
24-Jun (3D)	2000342	9	Extensão RTD 25m Teflon FFM12 4P 90º	Aguarda Material	[illegible]
		OBS de TESTE SG			
	2000574	1	Pt100.1-S3F-MGx0000-KNx0000-R18-RV		[illegible]
	2000575	1	TP-K.2-D-12x0500-DBx0000-B12-ST		[illegible]
25-Jun (4D)	2000581	2	Pt100.1-S3F-06x0300-PLx0000-SFX-ST		[illegible]
26-Jun (5D)	2000576	10	TP-J.1-S-08x0005-SixX200-MFX-ST		[illegible]
	2000577	1	Pt100.1-S3F-03x0735-PLx0000-SFX-ST		[illegible]
	2000578	2	Pt100.1-S3F-10x0750-THx0000-B12-ST		[illegible]
	2000579	2	CP-K-S300-AREF.21xX140-TH-SFX-ST		[illegible]

Figura 56 – Tabela da página *web* da aplicação para laboratório de termometria (depois das alterações).

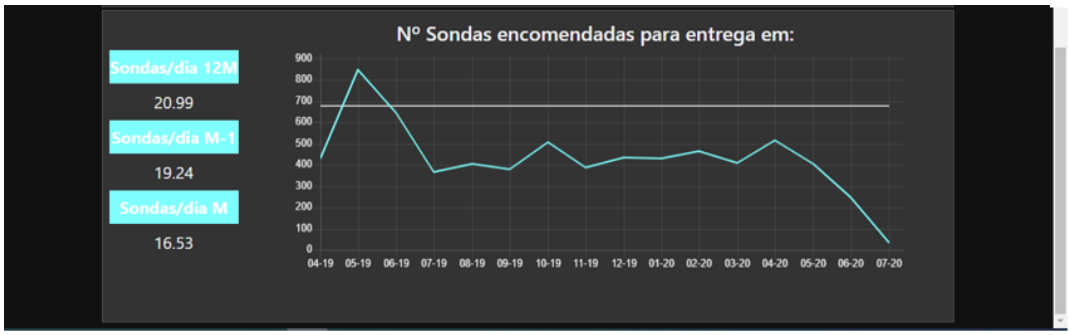


Figura 57 – Dados estatísticos e gráfico de encomendas da página web da aplicação para laboratório de termometria.

5.3 Conclusão do Capítulo

Para além da aplicação descrita no capítulo anterior, foram várias as atividades em que participei, no qual duas foram descritas com mais pormenor nomeadamente a calibração de equipamentos de deteção de gases e a aplicação da termometria.

Quanto aos equipamentos de deteção de gás, estes são dispositivos usados para salvar vidas, e como tal é de extrema importância ter um equipamento devidamente calibrado. Foram analisados vários equipamentos e de diferentes marcas, sendo que o de realce foi o Ventis MX4, da *Industrial Scientific*, podendo este ser calibrado de forma manual ou automática.

Relativamente à aplicação da termometria foram realizadas várias alterações na página *web*, como por exemplo, no seu *design*, na modificação da tabela apresentada bem como a adição de parâmetros estatísticos com o objetivo de apoiar o responsável daquela área.

6 CONCLUSÃO

O presente relatório de estágio descreve as diferentes experiências vivenciadas, onde se aplicou e desenvolveu conhecimentos e competências adquiridas ao longo do percurso académico, designadamente no curso de mestrado em Engenharia Eletrotécnica, ministrado no ISEC. Este estágio enquadrou-se nas áreas da automação industrial e ambiente.

O futuro da automação industrial está relacionado com a chamada quarta revolução industrial, vulgarmente designado por indústria 4.0. Esta consiste na utilização de equipamentos eletrónicos, como por exemplo, sensores, controladores e de redes de computadores, de modo a automatizar e otimizar processos industriais. Para a conexão dos equipamentos mencionados, surgem conceitos como a Internet das Coisas, computação em nuvem, entre outros.

Atualmente, as pessoas passam cada vez mais tempo em espaços fechados, ficando assim expostas a uma variedade de poluentes ali existentes, sendo por isso a qualidade do ar um tópico de preocupação. A qualidade do ar que nos envolve induz mudanças no nosso comportamento e na nossa saúde e como tal é importante controlar e corrigir esta realidade, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas que frequentam este tipo de espaços.

A qualidade do ar depende dos parâmetros no local, que podem variar de diferentes formas, como por exemplo, num espaço confinado a presença de diferentes gases será maior, daí a importância da utilização de equipamentos de deteção de gás para garantir a segurança dos seus utilizadores.

Para a aplicação desenvolvida foi realizada a avaliação da qualidade do ar e do conforto térmico no departamento comercial. Esta avaliação da qualidade do ar foi realizada a partir da medição do teor de CO_2 enquanto que para avaliar o conforto térmico foram medidos os valores da temperatura e humidade relativa do ar.

O desenvolvimento da aplicação permitiu a aquisição de novos conhecimentos relativamente às diversas funcionalidades que os equipamentos possuem, bem como às tecnologias mais usadas nos dias de hoje para o referido efeito.

Para concluir, a realização deste estágio foi importante para uma melhor perceção do mercado de trabalho, bem como para conhecer as ferramentas e as tecnologias utilizadas neste setor de atividade. O estágio foi igualmente uma mais valia na consolidação de muitos conceitos teóricos e práticos aprendidos ao longo de todo o percurso académico e uma excelente preparação para futura atividade laboral no domínio da engenharia eletrotécnica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. P. Q. Campos, "Apoio na Construção de Máquinas Industriais - Estágio na SIRMAF," Coimbra, 2017.

[2] C. B. M. C. C. N. M. M.-A. J. Ginja, "Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas," *Congress of Innovation on Sustainable Construction,* pp. 1-10, 2012.

[3] FFonseca, "Quem Somos," FFonseca, [Online]. Available: https://www.ffonseca.com/pt/quem-somos. [Acedido em 03 2020].

[4] FFonseca, Guia Técnico de Sondas de Temperatura, Aveiro, 2017.

[5] D. T. &. P. U. B. d. Albuquerque, Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações, Érica, 2011.

[6] A. M. d. C. Anacleto, "Temperatura e sua medição," Porto, 2007.

[7] I. Lightwave, "Callendar-Van Dusen Equation and RTD Temperature Sensors," [Online]. Available: https://www.newport.com/medias/sys_master/images/images/h97/h74/9163083317278/TN-RTD-1-Callendar-Van-Dusen-Equation-and-RTD-Temperature-Sensors.pdf. [Acedido em 07 2020].

[8] A. J. d. Sucre, "mediciones industriales," 19 janeiro 2009. [Online]. Available: http://veronicavelasquezg.blogspot.com/. [Acedido em 08 2020].

[9] P. N. Stroski, "NTC e PTC," 14 08 2017. [Online]. Available: https://www.electricalelibrary.com/2017/08/14/ntc-e-ptc/. [Acedido em 08 2020].

[10] D. M. J. Calderón, "Fundamentos de medición de temperatura," [Online]. Available: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/damarquezg/Temp.pdf. [Acedido em 08 2020].

[11] EPCOS, "NTC Thermistors," 2009.

[12] "LEL Ambiental," 27 06 2017. [Online]. Available: https://lelambiental.com.br/artigos-tecnicos/deteccao-de-gases/. [Acedido em 04 2020].

[13] "Trabalho em Espaços Confinados," Autoridade para as Condições do Trabalho, 23 10 2012. [Online]. Available: https://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Campanhas/Campanhasrealizadas/CampanhaTrabalhoemEspacosConfinados/Paginas/default.aspx. [Acedido em 05 2020].

[14] "Segurança em Espaços Confinados," Associação Portuguesa de Segurança, [Online]. Available: https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/seguranca-em-espacos-confinados/. [Acedido em 05 2020].

[15] E. F. T. Clamote, "Espaços Confinados e Atmosferas Perigosas Associadas," *SAFEMED,* 2015.

[16] I. Scientific, Gas Detection Made Easy, 2013.

[17] K. Lambert, "Limites de Inflamabilidade," pp. 1-10, 2016.

[18] L. Ambiental, "Gás LEL - O que significa, e quais são os seus riscos?," 26 12 2017. [Online]. Available: https://lelambiental.com.br/artigos-tecnicos/o-que-significa-gas-lel/. [Acedido em 04 2020].

[19] Z.Yunusa, "Gas Sensors: A Review," *IFSA Publishing,* vol. 168, nº 4, pp. 61-75, 2014.

[20] I. Scientific, "Electrochemical Sensors," Industrial Scientific, [Online]. Available: https://www.indsci.com/training/general-gas-education/electrochemical-sensors/. [Acedido em 30 04 2020].

[21] I. Scientific, Industrial Scientific, [Online]. Available: https://www.indsci.com/training/general-gas-education/electrochemical-sensors/. [Acedido em 30 04 2020].

[22] I. Scientific, "Catalytic Diffusion Sensor," Industrial Scientific, [Online]. Available: https://www.indsci.com/training/general-gas-education/catalytic-diffusion-sensor/. [Acedido em 04 2020].

[23] K. M. Eiji Okamoto, "Thermal Conductivity Gas Sensor for Measuring Fuel Vapor Content," 1996.

[24] "Thermal Conductivity Sensors," AEP Components, [Online]. Available: https://www.aepint.nl/components/products/gas-sensors/thermal-conductivity-sensors/?cn-reloaded=1. [Acedido em 05 2020].

[25] P. Connection, "Deteção de gases e os tipos de sensores," [Online]. Available: https://acessopercon.com.br/percon/deteccao-de-gases-e-os-tipos-de-sensores/. [Acedido em 05 2020].

[26] "Saiba a importância de calibrar seu detector de gás," Clean Environment Brasil, 16 05 2011. [Online]. Available: https://www.clean.com.br/Blog/Post/saiba-a-importancia-de-calibrar-seu-detector-de-gas. [Acedido em 05 2020].

[27] "O que é HMI," COPADATA, [Online]. Available: https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-hmi-a-interface-homem-maquina-copa-data/. [Acedido em 16 04 2020].

[28] E. K. J. K. Peter Papcun, "Human Machine Interface in Concept of Industry 4.0," *DISA 2018 - IEEE World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines, Proceedings,* pp. 289-296, 2018.

[29] "What is HMI," Inductive Automation, 10 08 2018. [Online]. Available: https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi. [Acedido em 16 04 2020].

[30] M. W. S. M. A. K. T. K. M. U. Farooq, "A Review on Internet of Things (IoT)," *International Journal of Computer Applications* , vol. 113, 2015.

[31] Deloitte, "A Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)," Centro Nacional de Cibersegurança Portugal, [Online]. Available: https://www.cncs.gov.pt/a-internet-das-coisas-iot-internet-of-things/. [Acedido em 07 2020].

[32] "Segurança e Indústria 4.0: tecnologia contribuindo para fábricas mais seguras," Stefanini, 16 05 2019. [Online]. Available: https://stefanini.com/pt-br/trends/artigos/tecnologia-contribuindo-para-fabricas-mais-seguras. [Acedido em 07 2020].

[33] "Weintek," FFonseca, [Online]. Available: https://www.ffonseca.com/pt/marca-weintek. [Acedido em 05 2020].

[34] "cMT-SVR-100," PLCDirect, [Online]. Available: https://www.plcdirect.eu/products/operator-interfaces-hmi/weintek-hmi-products/cmt-series/product/cmt-svr-100. [Acedido em 16 03 2020].

[35] Weintek, User Manual cMT-SVR Startup Guide.

[36] "Advantech," FFonseca, [Online]. Available: https://www.ffonseca.com/pt/marca-advantech.

[37] Advantech, User Manual ADAM-6000 Series.

[38] Advantech, [Online]. Available: https://www2.advantech.com/my/edm/eA/2008%20New_ADAM-6000_Series_eDM/index_P2P.html.

[39] "Ethernet I/O Modules: ADAM-6000," Advantech, [Online]. Available: https://www.advantech.com/products/ethernet-i-o-modules-adam-6000/sub_a67f7853-013a-4b50-9b20-01798c56b090. [Acedido em 04 2020].

[40] "ADAM-6060," Advantech, [Online]. Available: https://www.advantech.com/products/ethernet-i-o-modules-adam-6000/sub_a67f7853-013a-4b50-9b20-01798c56b090. [Acedido em 04 2020].

[41] Advantech, User Manual WISE-4000 Series.

[42] "WISE-4010/LAN," Advantech, [Online]. Available: https://www.advantech.com/products/da5ad5b2-09b9-418c-9f6a-f4a6e2f8f53a/wise-4010-lan/mod_c9687a10-d9e5-4ecc-9e7c-af2730a8cd41. [Acedido em 05 2020].

[43] "WISE-4012," Advantech, [Online]. Available: https://www.advantech.com/products/4260f153-57cd-4102-81ea-7a0f36d9b216/wise-4012/mod_0dd63bf5-6516-4488-a6f6-9293b5b17eff. [Acedido em 05 2020].

[44] "WISE-4220-S231," Advantech, [Online]. Available: https://www.advantech.com/products/229f9f5b-d073-4cc2-ac54-d90147e04c12/wise-4220-s231/mod_beae5c1a-4208-4310-8556-ba5e763d97ba. [Acedido em 05 2020].

[45] Advantech, User Manual WISE-4220 Series.

[46] "Modbus FAQ: About The Modbus Organization," Modbus, [Online]. Available: https://modbus.org/faq.php. [Acedido em 06 2020].

[47] P. F. d. A. Moreira, "Monitorização de Parques Solares," Porto, 2017.

[48] "Modbus Application Protocol Specification," 28 12 2006. [Online]. Available: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf. [Acedido em 06 2020].

[49] M. R. R. T. a. S. A. Sadik Tamboli, "Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP Communication using Siemens S7-1200 PLC for Batch Process," pp. 258-263, 2015.

[50] R. Zurawski, Industrial Communication, CRC Press, 2014.

[51] C. A. Anauate, "Redes Industriais," 10 05 2013. [Online]. Available: https://pt.slideshare.net/MobileIPVideo/apostila-redes-industriais-prof-camilo-a-anauate. [Acedido em 06 2020].

[52] C. D. F. Ribeiro, "Gestão energética do sistema de AVAC de um grande edifício de serviços," Porto, 2015.

[53] P. L. Miguel Jesus, "Unidades de Tratamento de Ar," 30 11 2016. [Online]. Available: http://www.dem.isep.ipp.pt/uploads/DEM_PDFs/Laboratorios_Docs/AVAC/Eventos/ISEP_Nov2016_final.pdf. [Acedido em 06 2020].

[54] A. J. D. d. C. Pereira, "Análise de Fiabilidade de Permutadores de Calor de Unidades de Tratamento de Ar," Porto, 2012.

[55] "Pressão nos filtros," Testo, [Online]. Available: https://www.testo.com/pt-PT/medicao-de-pressao/pressao-nos-filtros/c/applications_operations_maintenance_service_air_conditioning_system_pressure_measurement_filter. [Acedido em 06 2020].

[56] “Air Handling Unit,” Air Conditioning Systems, [Online]. Available: https://www.airconditioning-systems.com/air-handling-unit.html. [Acedido em 06 2020].

[57] “Filtro Hepa,” Neoparts Equipamento, S.A., [Online]. Available: https://www.karcher-neoparts.pt/pt/filtro-hepa-28602290.html. [Acedido em 06 2020].

[58] “Ventilador centrífugo metálico - 230 V,” Manutan, [Online]. Available: https://www.manutan.pt/pt/map/ventilador-centrifugo-metalico-230-v. [Acedido em 06 2020].

[59] “Ventilador axial AFC-VB series,” Ventur, [Online]. Available: https://www.directindustry.com/pt/prod/ventur/product-29555-820625.html. [Acedido em 06 2020].

[60] S. C. M. Soares, “AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR NO EDIFÍCIO DA PORTARIA PRINCIPAL DO PORTO D ELEIXÕES,” Porto, 2017.

[61] “Detector multi-gases Ventis MX4,” Conect, [Online]. Available: https://conect.online/produto/detector-de-gas-vtsl1231100907/. [Acedido em 06 2020].

[62] “Detector multi-gases Ventis MX4,” Conect, [Online]. Available: https://conect.online/produto/detector-de-gas-vtsl1231100917/. [Acedido em 06 2020].

[63] “Estação de fixação para detector de gás DSX,” Industrial Scientific, [Online]. Available: https://www.directindustry.com/pt/prod/industrial-scientific/product-15589-1615758.html. [Acedido em 06 2020].

[64] G. G. Milica Lekić, “IoT sensor integration to Node-RED platform,” 21-23 03 2018.