



Sistemas de localização de objetos em processos industriais

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Alexandre Gaspar Vala Batista

Leiria, março de 2024



Sistemas de localização de objetos em processos industriais

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Alexandre Gaspar Vala Batista

Trabalho de projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Hugo Miguel Cravo Gomes e do Professor Doutor Lino Miguel Moreira Ferreira.

Leiria, março de 2024

Originalidade e direitos de autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha namorada, por ouvir, incentivar, apoiar com toda atenção e compreensão.

Agradecimentos

Para a concretização deste projeto de mestrado, recebi apoios cruciais e incentivos sem os quais não seria possível realizá-lo, pelos quais estou profundamente agradecido e sempre serei. Aos professores Hugo Gomes e Lino Ferreira pela sua orientação, apoio, disponibilidade, por compartilhar os seus conhecimentos e por me guiar ao longo deste desafiante caminho. Agradeço também aos meus pais pelo constante encorajamento e apoio emocional durante toda essa jornada académica. E um agradecimento especial à minha namorada, cujo amor, compreensão e incentivo foram uma fonte inestimável de motivação e apoio. Sem o suporte de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Este trabalho foi desenvolvido e financiado no âmbito do projeto SMARTTRACKING – Solução integrada de monitorização e manutenção preditiva para moldes, com referência POCI-01-0247-FEDER-049311.

Resumo

Num mundo industrializado onde o tempo de produção, a localização e rastreamento de objetos é de extrema importância, o presente projeto aborda o estudo detalhado e a implementação de sistemas de localização *indoor* de objetos apresentados na literatura e disponíveis no mercado. O objetivo é otimizar os tempos de produção em fábricas, identificando e minimizando os “tempos mortos” entre processos industriais. Para a realização deste tipo de sistema realizou-se um estudo do chão de fábrica, analisando o ambiente fabril, o tipo de máquinas, a composição de um molde, o percurso natural do fabrico de uma peça, a montagem do molde, e o comportamento dos operadores durante todo o processo. Feita a análise, selecionaram-se as melhores metodologias e equipamentos para a implementação de dois sistemas de rastreamento e localização de peças: ASW (*Aquisition System with Wi-Fi*) e ASL (*Aquisition System with LoRa*), baseados no microcontrolador ESP32, sendo o que o primeiro comunica diretamente por Wi-Fi para uma API que faz a filtragem dos dados para a base de dados e o segundo tem um módulo central (*master*) que recebe os dados dos restantes módulos de aquisição (*slaves*) via LoRa e envia via Wi-Fi os dados para a mesma API. Estes sistemas recolhem os dados de *tags* RFID lidos por leitores com antenas integradas. Conjuntamente com estes dois sistemas, implementou-se uma solução comercial da marca Zebra de forma a comparar confiabilidade dos sistemas construídos com uma solução comercial. Foi também desenvolvido um software que permitia associar as *tags* RFID à respetiva peça, visualizar todo o seu percurso durante o processo produtivo e localizar em tempo real em que zona/máquina se encontrava.

Palavras-chave: *tags* RFID, rastreamento industrial, sistemas de localização de objetos em tempo real, Wi-Fi e LoRa.

Abstract

In an industrialized world where production time, location, and object tracking are of utmost importance, this project addresses the detailed study and implementation of indoor object location systems presented in the literature and available on the market. The objective is to optimize production times in factories by identifying and minimizing "dead times" between industrial processes. To achieve this type of system, a study of the factory floor was conducted, analysing the manufacturing environment, the type of machines, the composition of a mold, the natural path of part manufacturing, the mold assembly, and the behaviour of operators throughout the entire process. Following this analysis, the best methodologies and equipment were selected for the implementation of two tracking and location systems for parts: ASW (Acquisition System with Wi-Fi) and ASL (Acquisition System with LoRa), both based on the ESP32 microcontroller. The former communicates directly via Wi-Fi to an API that filters the data for the database, while the latter has a central module (master) that receives data from the other acquisition modules (slaves) via LoRa and sends the data via Wi-Fi to the same API. These systems collect data from RFID tags read by readers with integrated antennas. Alongside these two systems, a commercial solution from the Zebra brand was implemented to compare the reliability of the constructed systems with a commercial solution. Additionally, software was developed to associate RFID tags with their respective parts, visualize their entire path during the production process, and locate in real time which area/machine they were in.

Keywords: RFID tags, industrial tracking, real-time object localization systems, Wi-Fi and LoRa.

Índice

Originalidade e direitos de autor	iii
Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Índice	viii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xiii
Lista de siglas e acrónimos	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	2
1.3. Estrutura do documento.....	3
2. Rastreabilidade e posicionamento - fundamentos e tecnologias	5
2.1. Rastreabilidade.....	5
2.2. Técnicas e algoritmos de posicionamento	7
2.3. Tecnologias de comunicação e rastreabilidade.....	14
2.4. A tecnologia RFID – caracterização	20
2.5. Conclusão de capítulo	26
3. Sistema de rastreamento.....	27
3.1. Análise do chão de fábrica.....	27
3.2. Estudo das técnicas de localização de objetos em ambiente industrial	30
3.3. Sistema de rastreamento propostos	31
3.4. Modelo entidade-relacionamento.....	36
4. Implementação prática	43
4.1. Esquema geral do sistema de rastreamento.....	43

4.2. Sistemas ASW e ASL.....	45
4.3. Sistema comercial Zebra.....	66
5. Testes em ambiente industrial.....	79
5.1. Primeiro teste experimental.....	81
5.2. Segundo teste experimental	85
5.3. Conclusões dos testes experimentais	87
6. Conclusões e trabalho futuro.....	91
Referencias bibliográficas.....	93
Anexos.....	95
Anexo A – Relatório de problemas e riscos.....	95
Anexo B – Cálculo de perdas nos cabos (sistema Zebra).....	106

Lista de figuras

Figura 2.1 - Rastreamento bidirecional	6
Figura 2.2 - Vantagens da rastreabilidade	7
Figura 2.3 - Diagrama das técnicas e algoritmos de posicionamento.....	7
Figura 2.4 - Método de proximidade.....	8
Figura 2.5 - Método de posicionamento baseado em ToA.....	10
Figura 2.6 - Método de posicionamento em TDoA.....	11
Figura 2.7 - Método de posicionamento AoA	13
Figura 2.8 - Resumo da História da RFID	21
Figura 2.9 - Esquema de um sistema RFID	21
Figura 2.10 - Exemplos de leitores RFID: a) <i>low-cost</i> ; b) <i>high-cost</i>	22
Figura 2.11 - Exemplos de <i>tags</i> RFID: a) passivas; b) ativas	23
Figura 2.12 - Tipos de comunicação de um sistema RFID	25
Figura 3.1 - Planta geral do chão de fábrica.....	28
Figura 3.2 – Fluxograma geral do funcionamento do sistema de rastreamento	33
Figura 3.3 – Diagrama de bloco do sistema comercial - ZEBRA	33
Figura 3.4 – Diagrama de bloco do sistema ASW/ASL.....	35
Figura 3.5 – Modelo ER.....	40
Figura 4.1 - Esquema geral do sistema de rastreamento RFID	44
Figura 4.2 - Especificações ESP32 DevKit v1 (ESPRESSIF)	46
Figura 4.3 - Especificações ESP32 SX1276 LoRa (TTGO)	47
Figura 4.4 - Módulo MicroSD Card Reader	48
Figura 4.5 - Módulo RTC	48
Figura 4.6 - Módulo conversor RS232-TTL	48
Figura 4.7 - Módulo Relé.....	49
Figura 4.8 - Módulo de alimentação	49
Figura 4.9 - Antena LoRa	49
Figura 4.10 - LCD OLED	50

Figura 4.11 - Especificações do Leitor CHAFON RU5306	50
Figura 4.12 - Especificações do Leitor CHAFON RU5106	51
Figura 4.13 - Esquema de ligação dos módulos do Sistema ASW	52
Figura 4.14 - Esquema de ligação dos módulos do Sistema ASL	53
Figura 4.15 - Esquemático da PCB do sistema ASW	53
Figura 4.16 - Esquemático da PCB do sistema ASL	54
Figura 4.17 – Modelo 3D da caixa do sistema ASW.....	54
Figura 4.18 – Aspeto final da versão 1 do sistema ASW	55
Figura 4.19 - Aspeto final da versão 2 do sistema ASW	55
Figura 4.20 – Modelo 3D da caixa do sistema ASL.....	55
Figura 4.21 – Aspeto final do sistema ASL.....	56
Figura 4.22 – Esquema de funcionamento do sistema ASW/ASL	57
Figura 4.23 - Fluxograma do funcionamento do <i>webserver</i> dos módulos ASW/ASL	59
Figura 4.24 - Ligação à rede ESP32	60
Figura 4.25 - Página inicial de configuração do sistema	60
Figura 4.26 - Registo das credenciais e criação do ficheiro	61
Figura 4.27 - Ficheiro de configuração do sistema ASW.....	61
Figura 4.28 - Ficheiro de configuração do sistema ASL	62
Figura 4.29 - Página inicial de Login	62
Figura 4.30 - Menu inicial do <i>webserver</i>	63
Figura 4.31 - Página de alteração das configurações.....	63
Figura 4.32 - Página de download de ficheiros	63
Figura 4.33 - Página de delete de ficheiros.....	64
Figura 4.34 - Página dos últimos 50 registos.....	64
Figura 4.35 - Especificações do Leitor Zebra FX9600.....	66
Figura 4.36 - Especificações da antena AN720.....	67
Figura 4.37 - Especificações da antena AN480.....	67
Figura 4.38 - Esquema de ligação do sistema Zebra	68
Figura 4.39 – Fluxograma de funcionamento do sistema Zebra.....	69
Figura 4.40 - Especificações das TAGs InLine Ultra Mini	70

Figura 4.41 - <i>Mockup</i> do menu de <i>tags</i>	71
Figura 4.42 - <i>Mockup</i> do menu de <i>tracking</i>	71
Figura 4.43 - <i>Mockup</i> do menu de registos	72
Figura 4.44 - Fluxograma do sistema de filtragem	73
Figura 4.45 - Registo de uma <i>tag</i>	75
Figura 4.46 - Informação de leitura de <i>tags</i> ativas	75
Figura 4.47 - Seleção de uma <i>tag</i> na função de <i>tracking</i>	76
Figura 4.48 - <i>Tag</i> localizada na máquina F33	76
Figura 4.49 - <i>Tag</i> localizada na Zona 1.....	77
Figura 5.1 - Cenário de montagem das antenas e/ou leitores junto das máquinas e pórticos	79
Figura 5.2 - Antenas Zebra junto das máquinas F16 e F32.....	80
Figura 5.3 - Leitores com o sistema ASL e ASW nas máquinas F33 e F23	80
Figura 5.4 - Antenas de pórtico do sistema Zebra e ASL	80
Figura 5.5 - <i>Tag</i> inserida num componente de um molde.....	81
Figura 5.6 - Percurso real e registado pelo sistema para a <i>tag</i> A no 1º teste.....	82
Figura 5.7 – Percurso real e registado pelo sistema para a <i>tag</i> B no 1º teste.....	83
Figura 5.8 – Percurso real e registado pelo sistema para a <i>tag</i> C no 1º teste.....	83
Figura 5.9 - Percurso registado pelo sistema para a <i>tag</i> D no 1º teste.....	84
Figura 5.10 - Percurso registado pelo sistema para a <i>tag</i> A no 2º teste.....	85
Figura 5.11 - Percurso registado pelo sistema para a <i>tag</i> B no 2º teste	86
Figura 5.12 - Percurso registado pelo sistema para a <i>tag</i> C no 2º teste	86
Figura 5.13 - Percurso registado pelo sistema para a <i>tag</i> A no 2º teste.....	87

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Tabela comparativa das técnicas e algoritmos de posicionamento.....	14
Tabela 2.2 - Tabela comparativa entre diferentes normas Wi-Fi.....	17
Tabela 2.3 - Tabela comparativa das tecnologias de rastreamento.....	20
Tabela 2.4 - Tabela indicativa das bandas de funcionamento da RFID.....	24
Tabela 3.1 - Tabela SBI_Zones	36
Tabela 3.2 - Tabela U_BQDPortical	36
Tabela 3.3 - Tabela SIR_Resource	37
Tabela 3.4 - Tabela U_BQDAntenna	37
Tabela 3.5 - Tabela SBI_ProductionParts	37
Tabela 3.6 - Tabela SBI_OT	38
Tabela 3.7 - Tabela SBI_Tags	38
Tabela 3.8 - Tabela U_BQDRecords.....	38
Tabela 3.9 -Tabela U_BQDRecordsHist	39
Tabela 3.10 - Tabela U_BQDRecordsFilter	39
Tabela 5.1 - Tabela descritiva de zonas de identificação.....	82

Lista de siglas e acrónimos

AIAG	Automotive Industry Action Group
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
AoA	Angle of Arrival
AP	Pontos de Acesso
API	Application Programming Interface
ASL	Aquisition System with LoRa
ASW	Aquisition System with Wi-Fi
BLE	Bluetooth Low Energy
CLK	Clock
CNC	Comunicações Comando Numérico
CS	Chip Selector
EDM	Electro Discharge Machining
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
GND	Ground
GPIO	General Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
GS1	Global Standards 1
HF	High Frequency
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet das Coisas
IP	Índice de Proteção
IR	Infravermelhos
ISO	International Organization for Standardization
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LF	Low Frequency
LoS	Linha de Vista
MER	Modelo Entidade-Relacionamento

MISO	Master-In Slave-Out
MOSI	Master-Out Slave-In
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NC	Não Conformidade
NFC	Near Field Communication
NLoS	Non Line of Sight
NO	Normally-Open
NTP	Network Time Protocol
OLED	Organic Light-Emitting Diode
OT	Ordem de Trabalho
POE	Power Over Ethernet
PCB	Printed Circuit Board
RF	Radiofrequência
RFID	Radio Frequency IDentification
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTC	Real Time Clock
RTT	Round Trip Time
RXD	Receive Data
SCL	Serial CLock Line
SD	Sand Disc
SDA	Serial DATa line
SDK	Software Development Kit
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP	Transmission Control Protocol
TDoA	Time Difference of Arrival
ToA	Time of Arrival
TTL	Text to Live
UHF	Ultra High Frequency
UTC	Universal Time Coordinated
UWB	Ultra WideBand
VCC	Voltage Commom Collector
Wi-Fi	Wireless Fidelity

1. Introdução

O presente relatório tem como objetivo apresentar o trabalho “Sistemas de localização de objetos em processos industriais” desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular de Projeto, do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica do Politécnico de Leiria. Neste primeiro capítulo são apresentados o enquadramento e motivação, os principais objetivos que se pretende alcançar e a estrutura do documento.

1.1. Enquadramento e motivação

A rastreabilidade industrial tem sido um dos temas mais abordado no âmbito da digitalização dos cenários industriais, levando ao surgimento de sistemas automáticos de rastreabilidade que permitem ajudar as empresas na descoberta de não conformidades e irregularidades, permitindo a capacidade de manter a competitividade, melhorar os processos e os *timings* de produção [1].

Atualmente, existe em Portugal empresas com sistemas de rastreabilidade desenvolvidos, contudo esses sistemas são vocacionados para a gestão de stocks ou para a produção de peças em série. Estes sistemas existentes são bastante limitados e pouco adaptados ao contexto do fabrico de moldes para indústria plástica, caracterizado por uma fabricação sob medida de peças únicas e de escalas variadas.

É importante contextualizar a importância individual e única existente na produção de moldes. Ao contrário da indústria de injeção de plásticos ou de outro fabrico em série de produtos, cada molde é projetado e construído especificamente para um único propósito. Isto significa que, mesmo que peças plásticas entre si sejam semelhantes, com pequenas diferenças estruturais (como para-choques de diferentes modelos de carros), os moldes necessários para produzi-las podem apresentar grandes variações em termos de design e construção. Além disso, características como o número de ciclos de injeção e o tipo de sistema de injeção utilizado contribuem para a unicidade de cada molde.

Um dos principais desafios das empresas de fabrico de moldes é a realização dos orçamentos dos moldes. Estes têm de ser os mais competitivos possíveis por forma a “cativar” os potenciais clientes, mas, simultaneamente, não podem gerar prejuízo para a empresa e devem tomar em consideração que o custo de produção não excede o expectável. Existem vários fatores fundamentais e bem conhecidos pela empresa que são suporte base para o cálculo de um orçamento: a quantidade de material necessário para o fabrico das peças, o consumo energético, o tempo de cada uma das máquinas utilizadas para a sua produção, o valor da mão de obra e a margem de lucro. Contudo, atualmente o cálculo do tempo total de produção é baseado numa estimativa, baseada na experiência e o conhecimento dos orçamentistas, o que pode ser “limitador” e prejudicial no mercado bastante competitivo ao nível comercial.

A gestão da produção é outro desafio complexo que envolve não apenas a eficiência na execução dos projetos, mas também a garantia da qualidade e conformidade dos moldes produzidos. A detecção precoce de não conformidades é essencial para evitar o retrabalho dispendioso e atrasos na entrega dos projetos aos clientes. A gestão da produção de moldes requer uma abordagem cuidadosa e meticulosa. É fundamental monitorizar o tempo de perto e a geometria dos moldes em produção, garantindo que estão a ser cumpridos os prazos estabelecidos e que os moldes estão a ser fabricados de acordo com as especificações técnicas exigidas. Para isso, é necessário implementar sistemas de monitorização em tempo real que permitam acompanhar o progresso da produção e identificar rapidamente quaisquer desvios que possam surgir. Além disso, a detecção das não conformidades de produção, tanto em termos de tempo como de geometria dos moldes, é crucial para assegurar a qualidade final dos produtos fabricados. A utilização de tecnologias avançadas, como sistemas de medição tridimensional e análise de dados em tempo real, pode ajudar a identificar e corrigir problemas de forma rápida e eficaz, garantindo a conformidade dos moldes com os requisitos do cliente.

De forma a responder aos desafios apresentadas, pretende-se desenvolver um sistema de rastreamento para monitorizar a localização e o tempo de maquinação das peças em tempo real. Os dados adquiridos seriam processados e armazenados numa base de dados, alimentando um sistema de inteligência artificial. Esse sistema seria capaz de identificar falhas e não conformidades na produção de um molde, comparando os registos das máquinas e dos operadores com os registos do sistema de rastreamento.

1.2. Objetivos e metodologia

O principal objetivo deste projeto é criar um sistema de rastreamento de localização de peças e monitorização dos tempos de produção na indústria de moldes. Dado que o sistema a desenvolver será um caso de estudo aplicado a uma unidade fabril de moldes já em laboração, envolve superar outros desafios como: desenvolver um sistema resistente ao ambiente industrial (com ruído eletromagnético, possíveis choques mecânicos e poeiras); que seja não invasivo para as máquinas já existentes; seja escalável, isto é, que o sistema deva ser capaz de se adaptar a diferentes *layouts* de fábrica e ao possa ser adaptável a um possível aumento da produção no futuro.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste projeto consistiu na sua divisão em diferentes fases de ação. Na primeira fase foi realizado um estudo do chão de fábrica, com a recolha de dados relativos ao funcionamento das máquinas, à constituição de um molde, ao processo produtivo das peças, à ação dos operadores e à localização dos pontos chave para a obtenção de dados.

Na segunda fase estudaram-se as tecnologias a aplicar para a recolha dos dados. Foram realizados estudos sobre os sistemas de aquisição, os modos de comunicação e quais as técnicas ou algoritmos mais indicados para a recolha dos dados no ambiente em estudo.

Após a seleção do equipamento adequado para a implementação, na terceira fase, foi necessário realizarem-se quatro tarefas distintas. Em primeiro lugar, foi planeado o

funcionamento do sistema de aquisição, o formato, a estrutura e o armazenamento de todos os dados. Em seguida, realizou-se a configuração e programação de todo o sistema, desde os módulos de aquisição de dados, ferramentas de filtragem dos dados e do software de localização. Após esta tarefa, estudou-se a melhor forma de posicionar os leitores e respetivas antenas no chão de fábrica e desenvolveu-se o hardware complementar para o funcionamento adequado do sistema.

A quarta e última fase do projeto focou-se na realização de testes abrangentes para avaliar o funcionamento de todos os sistemas envolvidos no qual se incluem testes de comunicação (fiabilidade, capacidade de obtenção de dados, consumos energéticos), testes no sistema de localização (capacidade de registo de novas *tags*, fiabilidade na localização, histórico de processos) e testes no sistema de tratamento de dados (proteções adequadas, fiabilidade na filtragem). Adicionalmente, testes piloto foram realizados em ambiente real para validar a eficácia e precisão dos sistemas implementados.

1.3. Estrutura do documento

Este documento está organizado em 6 capítulos. O primeiro capítulo é referente à introdução, onde se engloba o enquadramento e a motivação, os objetivos, a metodologia e a estrutura do documento. No segundo capítulo é apresentado o conceito de rastreabilidade, a estrutura de um sistema de rastreabilidade e os seus objetivos, diversas técnicas e algoritmos de posicionamento, as tecnologias de rastreabilidade utilizadas, incidindo especialmente no RFID. O terceiro capítulo descreve a estrutura de um sistema de rastreamento, justificando-se as tecnologias e a metodologia de aquisição dos dados propostas para a solução final. O quarto capítulo tem como objetivo demonstrar a implementação prática de todo o sistema de rastreamento proposto, desde o hardware até às suas funcionalidades e capacidades. No quinto capítulo são apresentados os resultados dos testes experimentais realizados, sendo analisada a capacidade do hardware e funcionamento de todo o sistema no cenário real. O sexto e último capítulo, servirá como síntese, discussão e conclusão de todos os processos realizados, incidindo na escolha dos métodos de rastreamento utilizados, implementação do sistema e resultados obtidos.

2. Rastreabilidade e posicionamento - fundamentos e tecnologias

Este capítulo apresenta os fundamentos de rastreabilidade e posicionamento, técnicas e tecnologias relacionadas com localização e posicionamento de objetos ou pessoas. O subcapítulo 2.1 define, contextualiza e demonstra a importância da rastreabilidade. No subcapítulo 2.2 são apresentadas as diferentes técnicas e algoritmos de posicionamento assim como uma comparação entre elas de forma a identificar as melhores para a execução do sistema. O subcapítulo 2.3 demonstra as técnicas de comunicação e rastreabilidade existentes, apresentando as características, e as vantagens e desvantagens do uso das mesmas em contexto *indoor*. No subcapítulo 2.4 é abordado os fundamentos da tecnologia RFID, incluindo seu conceito funcionamento básico, tipos de etiquetas RFID, as frequências de funcionamento e os métodos de comunicação. Por fim, a seção 2.5 tem como objetivo apresentar as conclusões retiradas com base no estudo realizado previamente, averiguando os melhores métodos a aplicar no sistema de localização.

2.1. Rastreabilidade

A rastreabilidade é a capacidade de acompanhar o histórico, a aplicação ou a localização de uma entidade recorrendo a identificações registadas, de acordo com a normas ISO (*International Organization for Standardization*). As normas GS1 (*Global Standards 1*) também incide sobre o mesmo conceito: na capacidade de identificar a localização de um objeto em todo o processo produtivo e o seu histórico. Aplicando o conceito a um produto, é possível rastrear todos os processos ocorridos ao longo do seu “ciclo de vida”, ou seja, desde a chegada das matérias-primas, a conceção do produto, a distribuição e a localização após a saída do produto [2].

Por outro lado, o Standard IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) - “Prática Recomendada Para Especificações de Exigências de Software” define a rastreabilidade como o degrau em que uma relação entre dois ou mais produtos de um processo produtivo pode ser estabelecida, especialmente quando os produtos têm uma relação antecessor-sucedor ou mestre-subordinado entre si. Uma boa pratica do uso do standard IEEE é a aplicação do rastreamento bidirecional, que representa que as cadeias de rastreamento podem ser traçadas a jusante (*forward traceability*) ou a montante (*backward traceability*), com apresentado na Figura 2.1. Os conceitos podem ser definidos por [3]:

Forward traceability:

- Rastrear todo o processo produtivo desde o início até ao final de forma a assegurar que todos os requisitos foram cumpridos;
- Rastrear individualmente as etapas, os requisitos, a implementação e os testes que validaram que tudo estava de acordo com o suposto. O objetivo é assegurar que todos os requisitos e todos os testes foram devidamente alcançados/realizados.

Backward traceability:

- Rastrear cada produto final individualmente até ao seu respetivo requisito. Isto permite que os requisitos se mantenham de acordo as etapas, a projeção do produto e os testes;
- Rastrear cada um dos requisitos até à(s) origem(ns).

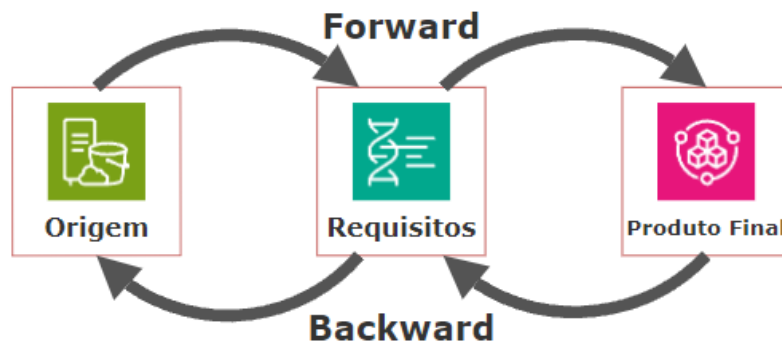


Figura 2.1 - Rastreamento bidirecional

Importância da rastreabilidade

A recolha e o fluxo de dados de um sistema de rastreabilidade são um dos principais fatores para o bom funcionamento de uma empresa porque permitem uma melhor gestão de recursos e uma tomada de decisões mais acertada.

Contruindo-se um sistema que permita realizar os processos de recolha, tratamentos e análise dos dados é possível a uma empresa conseguir trabalhar os dados críticos que permitam otimizar os processos e reduzir os custos.

Para além disso, um sistema de rastreamento permite:

- **Recolha de informação verdadeira:** A informação utilizada para análise deve ser fidedigna para que as tomadas de decisão sejam o mais acertadas possível;
- **Informação de fácil acesso e a qualquer momento:** A informação deve-se encontrar sempre coerente, atualizada e estruturada de forma que seja fácil de tratar e tomar boas decisões;
- **Informação devidamente selecionada e tratada:** Com a grande quantidade de dados gerados é necessário que a informação essencial seja selecionada e tratada para que não haja erros, atrasos ou redundâncias, melhorando e agilizando o processo de tomada de decisão.

A aplicação de um sistema de rastreabilidade, permite vantagens competitivas tais como (Figura 2.2) [4]:

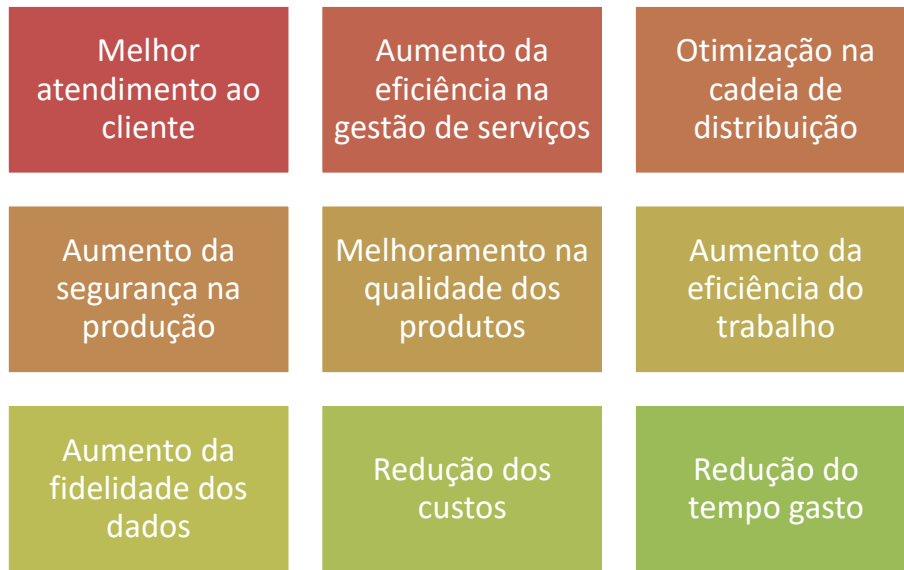


Figura 2.2 - Vantagens da rastreabilidade

2.2. Técnicas e algoritmos de posicionamento

Existem diversos métodos de obtenção de posicionamento. Neste ponto serão abordadas três das principais técnicas de detecção de localização: por proximidade, por triangulação ou por análise de cena. Serão também apresentados os algoritmos associados e as vantagens e desvantagens do uso de cada uma (Figura 2.3).

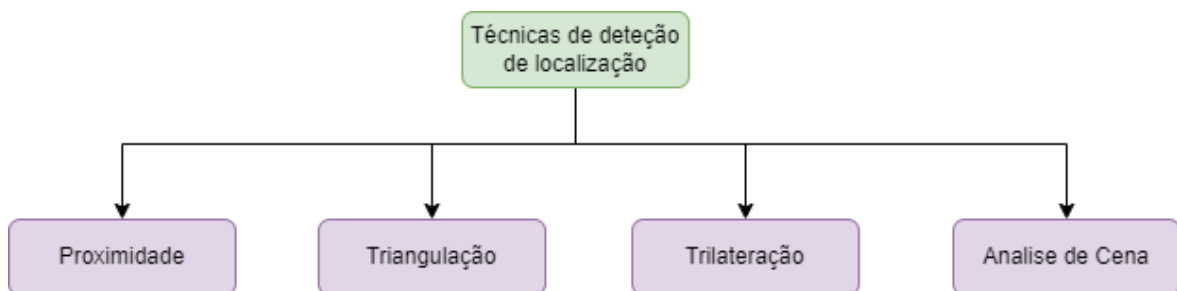


Figura 2.3 - Diagrama das técnicas e algoritmos de posicionamento

2.2.1. Proximidade

A técnica de proximidade determina a posição do objeto a partir da sua leitura quando este se aproxima do recetor. Tendo em conta que a posição do leitor é conhecida, é possível estimar-se a posição do objeto, ainda que possa ter alguns centímetros (ou até metros) de margem de erro na determinação da posição exata (Figura 2.4). Uma forma de minorar o erro na determinação da posição do objeto/pessoa poderá passar pela utilização de mais que uma antena/recetor. Assim, quando duas antenas detetam o mesmo objeto, será possível determinar que este se encontra próximo das duas, reduzindo significativamente a área da possível localização do objeto. Se for enquanto for detetado por uma delas, ele encontra-se apenas nas imediações da antena que o identificou. Existem geralmente três abordagens para esta técnica [5]:

- **Deteção por contacto físico:** A deteção por contacto físico implica que o objeto seja detetado por uma (muito) curta distância. Geralmente as tecnologias utilizadas para esta abordagem são os detetores de impressão digital, detetores de toque ou detetores de pressão;
- **Monitorização de pontos de acesso sem fios:** A monitorização é realizada quando um dispositivo está dentro do alcance de deteção de um ou mais pontos de acesso. Os pontos de acesso fazem parte de uma rede de dispositivos de localização fixa ou móvel. Existem várias tecnologias como RFID (*Radio Frequency IDentification*), Bluetooth, UWB (*Ultra WideBand*) ou Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) que permitem fazer este tipo de técnica.
- **Monitorização por observação de sistemas de identificação automáticos:** A implementação deste tipo de sistemas é geralmente utilizada em sistemas de identificação automática como terminais de multibanco, históricos de acesso a websites, registos telefónicos, cartões de acesso ou *tags*. Implementando um sistema de recolha de dados a um destes sistemas é possível fazer a monitorização, permitindo saber a localização do dispositivo móvel onde foi feito o registo.



Figura 2.4 - Método de proximidade

2.2.2. Trilateração

A trilateração é um método que usa a medição de distâncias para determinar a localização de um objeto. Para isso, são necessários pelo menos três pontos de referência, com distâncias conhecidas através de diferentes métodos de cálculo que podem usar o tempo ou a potência do sinal de radiofrequência.

Entre as técnicas mais conhecidas para o cálculo de uma localização por trilateração existe o *Time of Arrival (ToA)*, *Time Difference of Arrival (TDoA)*, *Round Trip Time (RTT)* e o *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*, sendo de seguida apresentada um breve resumo de cada uma das suas principais características.

Time of Arrival

O ToA (em português “Tempo de voo”) é uma técnica de trilateração que calcula a distância a partir do tempo de propagação entre o sinal transmitido e da resposta do objeto móvel. Neste método quando é emitido o sinal a partir do transmissor, este sinal contém o tempo de emissão na mensagem que é enviada. Quando a resposta é recebida, o recetor calcula a diferença entre a hora de emissão e a de receção, calculando a distância entre si e o objeto considerando a unidade de medida proporcional ao tempo de propagação do sinal. Para que seja possível construir-se um sistema baseado em ToA, são necessários pelo menos 3 transmissores (Figura 2.5). Este método é o mais simples e mais exato dentro das técnicas de trilateração visto que é capaz de filtrar os efeitos de *multi-path* em situações *indoor* [6]. Contudo, tem algumas desvantagens, visto que, necessita de uma sincronização temporal muito precisa entre todos os dispositivos, uma mensagem com o tempo de envio tem de ser sempre anexada à mensagem do transmissor e é um método que pode originar alguns problemas quando o meio envolvente se encontra bastante denso.

Recorrendo ao método dos quadrados mínimos, é possível saber-se qual é a posição do objeto e para que direção é que ele se está a deslocar.

Considerando, (x_0, y_0) , a posição inicial (t_0) e (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ... (x_N, y_N) , as posições seguintes para os intervalos de tempo t_1 , t_2 , ... t_N , então é possível calcular a performance da medição a partir da função,

$$M(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i^2 m_i^2(x) \quad (1)$$

onde α_i pode ser escolhido dependendo da confiabilidade do sinal recebido e a função

$$m_i(x) = c(t_i - t) - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (2)$$

onde c corresponde à velocidade da luz. Esta função é feita para cada ponto. A localização estimada é assim determinada minimizando a função $M(x)$.

Este tipo de técnica de medição é geralmente utilizado em sistemas UWB [7].

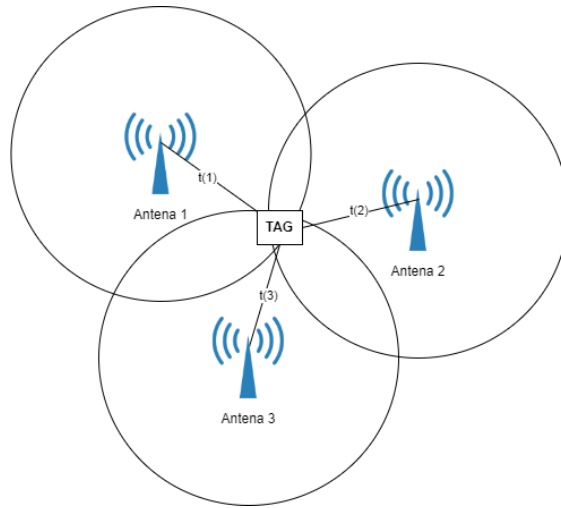


Figura 2.5 - Método de posicionamento baseado em ToA

Time Difference of Arrival

O TDoA (em português “Diferença do tempo de chegada”) é uma técnica que se baseia na medição entre múltiplos pares de pontos de referência com localizações conhecidas. Este método de localização não precisa de uma sincronização temporal para calcular os tempos e encontrar a posição, porque como a transmissão é feita com um tempo de início desconhecido apenas depende do tempo de recepção dos variados recetores. A medição da diferença entre esses tempos de recepção resulta numa curva hiperbólica de localização espacial para cada um dos módulos de recepção. O cruzamento entre as diferentes curvas irá assim especificar a possível localização do objeto, denominando-se este tipo de localização como multilateralização (Figura 2.6) [6].

O cálculo da curva hiperbólica dá-se pela equação,

$$R_{i,j} = \sqrt{(x_i - x)^2 - (y_i - y)^2 - (z_i - z)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 - (y_j - y)^2 - (z_j - z)^2} \quad (3)$$

onde, (x_i, y_i, z_i) e (x_j, y_j, z_j) representam as coordenadas dos recetores j, i .

$$\hat{R}_{x_i, x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) x_j(t - \tau) dt \quad (4)$$

A estimativa TDOA é o valor τ que maximiza $\hat{R}_{x_i, x_j}(\tau)$, ou seja, as diferenças de alcance. Esta abordagem requer que as unidades de medição partilhem uma referência temporal precisa e sinais de referência, mas não impõe quaisquer requisitos sobre o alvo móvel. Técnicas de processamento de domínio de frequência são geralmente usadas para calcular τ .

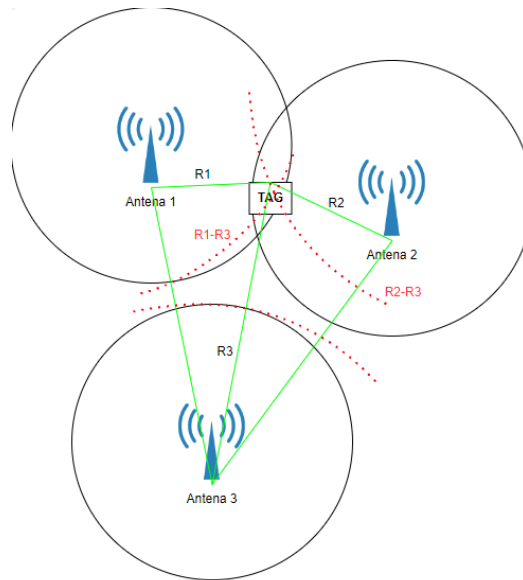


Figura 2.6 - Método de posicionamento em TDoA

Round Trip Time

O RTT (em português “Tempo de viagem”) mede o tempo que o sinal percorre entre o transmissor até ao recetor e o retorno ao transmissor, mas utiliza apenas um dos nós para calcular os tempos de envio e de receção. Isto permite uma maior fiabilidade em relação a outros sistemas, visto que nenhum dos 2 relógios precisa de estar sincronizado, resolvendo o problema de sincronização em certa medida. Uma das desvantagens deste método são as medições de alcance para múltiplos dispositivos que precisam ser realizadas consecutivamente, o que pode causar latências prejudiciais para aplicações onde os dispositivos se movem rapidamente [8].

Received Signal Strength Indicator Based

O RSSI (em português “Potência do sinal recebido”) é o método que ao contrário dos anteriores não necessita de estar em linha de vista entre o emissor e o recetor. Esta técnica mede a atenuação do sinal emitido, estimando a posição [9].

Para o cálculo da distância, é utilizada a relação entre a potência do sinal e atenuação em função da distância. A distância é assim calculada utilizando-se da fórmula da atenuação em espaço livre,

$$L_{FS} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + G_{Tx} + G_{Rx} \quad (5)$$

onde, d representa a distância entre o emissor e o recetor, λ representa o comprimento de onda, G_{Tx} e G_{Rx} representam o ganho do emissor e do recetor, respetivamente.

Para o cálculo das perdas, considerando-se a frequência de onda dentro dos padrões IEEE 802.11 como 2,4 GHz e que os ganhos são constantes, obtém-se a equação, onde K_1 reflete as contribuições destes parâmetros:

$$L_{FS} = K_1 + 20 \log_{10}(d) \quad (6)$$

Para além das perdas no espaço livre, tem de ser consideradas outras perdas devido à propagação *multi-path*, desvanecimento e outros tipos de interferências que degradam consideravelmente a potência do sinal recebido. Considerando as todas contribuições, o cálculo para as perdas totais ao fim da distância padrão (m ou km) é dado pela equação:

$$L_o = K_2 + n_1 \log_{10}(d) \quad (7)$$

sendo que os parâmetros K_2 e n_1 são reflexo do cenário de aplicação e são normalmente diferentes para cada modelo utilizado. Juntando as equações (6) e (7), a potência do sinal recebido a 1 metro – R - é dado por:

$$R = P_T - L_{FS} - L_o = P_T - K_1 - 20 \log_{10}(d) - K_2 - n_1 \log_{10}(d) \quad (8)$$

Simplificando a equação (8), obtém-se:

$$R = C - 10n \log_{10}(d) \quad (9)$$

onde C é o valor RSSI a 1 metro de distância do transmissor e n é o fator de atenuação que depende do cenário de utilização ($n=2$ para o espaço livre; $n = 4$ ou 5 para cenários com obstáculos). Para estimar a distância d , pode-se alterar a equação (9) obtendo-se:

$$d = 10^{\frac{C-R}{10n}} \quad (10)$$

2.2.3. Triangulação

Outra técnica utilizada para a determinação da localização de um objeto é a triangulação. Sendo parecida com trilateração (ao ponto de às vezes serem confundidas), a triangulação estima a posição de um objeto, baseando-se no ângulo do sinal recebido do objeto em relação a diferentes pontos de referência. Necessita de pelo menos 2 pontos de referência, mas podem ser usados mais para localização mais precisa [6]. O método mais utilizado nesta técnica é o *Angle of Arrival* (AoA).

Angle of Arrival

O AoA (em português “Ângulo de chegada”) determina o ângulo de chegada de um sinal proveniente de um objeto a um recetor fixo. Esta técnica pode ser realizada para a estimação em 2D com 2 antenas, contudo para aumentar a precisão do sistema devem ser usadas 3 ou mais antenas. Este tipo de sistemas tem algumas limitações por requerem antenas com a capacidade de medir ângulos e são geralmente afetados por reflexões provenientes de paredes ou outros objetos. Por esse motivo não são em geral uma boa alternativa para sistemas de localização *indoor* (Figura 2.7).

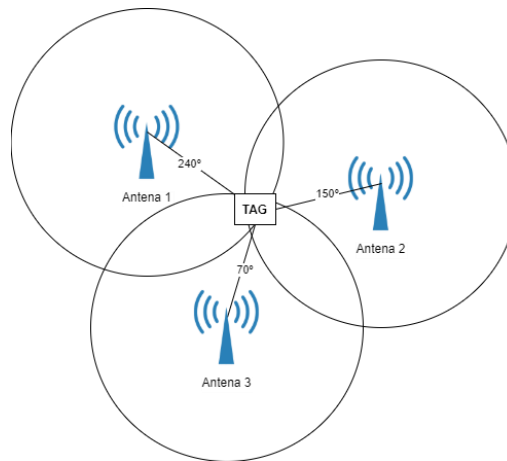


Figura 2.7 - Método de posicionamento AoA

2.2.4. Análise de cena

A análise de cena ou *fingerprinting* é uma técnica de posicionamento *indoor* para determinar a localização de uma pessoa ou objeto. Esta técnica baseia-se no RSSI do sinal, obtendo-se a distância relativa entre o sensor e o objeto.

A análise de cena requer que seja feito um mapeamento do espaço, gravando o RSSI de todos os locais. Assim é possível tabelar todas as zonas do local para que seja possível atribuir diferentes intensidades de sinal para cada ponto do edifício.

Ao cruzar os dados de RSSI medidos, o sistema é capaz de determinar a posição de um objeto em tempo real, calculando a distância entre um ou vários sensores.

A identificação da localização geralmente consiste em duas fases de treino [10]:

- **Fase *offline*:** A fase *offline* treina o algoritmo para aprender o RSSI de vários pontos, tais como Pontos de Acesso (AP), Pontos de Referência (RP) e dispositivos de utilizadores. Para que seja possível treinar o algoritmo, tem de se percorrer o local fisicamente e registar os dados RSSI num dispositivo móvel. Os dados recolhidos são armazenados juntamente com as suas coordenadas e passam a ser chamados de RP.
- **Fase *online*:** A fase *online* mede os RSSI dos sensores e compara-os com os valores armazenados na base de dados para determinar uma localização. O valor RSSI de qualquer ponto de numa localização passa a chamar-se de impressão digital de localização.

A principal vantagem de um sistema de análise de cena é que tecnicamente é relativamente simples. Se houver sensores suficientemente calibrados corretamente, então o algoritmo só precisa de procurar múltiplas intensidades de sinal e usá-las para triangular a localização de um dispositivo.

As principais desvantagens são:

- A identificação de impressões digitais não é adequada para locais que atualizam o seu *layout*;
- A técnica só funciona *online*;
- Instalação e manutenção complicadas;
- Falta de precisão e estabilidade;
- Custo.

2.2.5. Comparação entre diferentes técnicas

Por forma a ser possível fazer uma comparação entre as diferentes técnicas anteriormente apresentadas e outras existentes no mercado, foi compilado na Tabela 2.1 as principais características de cada uma para parâmetros importantes como: tipo de medição, precisão *indoor*, cobertura, funcionamento apenas em linha de vista (LoS) e custo.

Tabela 2.1 - Tabela comparativa das técnicas e algoritmos de posicionamento

Método	Tipo de Medição	Precisão <i>Indoor</i>	Cobertura	LoS/NLoS	Custo
Proximidade	Tipo de Sinal	Baixo a Medio	Boa	Ambos	Baixo
Direção	AoA	Médio	Boa	LoS	Alto
Tempo	ToA	Alto	Boa	LoS	Alto
Fingerprinting	Força do Sinal Recebido	Alto	Boa	Ambos	Medio

2.3. Tecnologias de comunicação e rastreabilidade

As tecnologias de comunicação e rastreabilidade desempenham um papel fundamental no cenário contemporâneo, especialmente em áreas como logística, produção industrial, gestão de cadeias de abastecimento e segurança alimentar. Estas tecnologias englobam um conjunto de ferramentas e sistemas que permitem a transmissão eficiente de informações e a monitorização precisa de produtos ao longo das suas cadeias de produção e distribuição. No âmbito das tecnologias de comunicação, destaca-se a utilização de redes de dados, como a Internet das Coisas (IoT), que possibilitam a interconexão de dispositivos e a troca contínua de informações em tempo real. Sensores inteligentes, dispositivos móveis e plataformas de software colaborativo são exemplos de recursos que facilitam esta comunicação, permitindo maior eficiência e tomadas de decisão mais informadas. Por outro lado, a rastreabilidade refere-se à capacidade de acompanhar a trajetória de um produto desde a sua origem até ao consumidor final. Isto é realizado através de sistemas de identificação, como códigos de barras, RFID (Identificação por Rádio Frequência) e outras tecnologias, que registam e armazenam dados em cada etapa do processo. A rastreabilidade garante a transparência e a segurança dos produtos, permitindo a rápida identificação de problemas e a implementação de medidas corretivas.

2.3.1. GNSS - Tecnologia de localização por satélite

O *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) é um termo genérico que se refere a qualquer sistema de navegação por satélite que forneça posicionamento global em qualquer lugar da Terra. Os sistemas GNSS incluem o *Global Positioning System* (GPS) dos Estados Unidos, o Galileo da União Europeia, o Compass da China e o GLONASS da Rússia:

- **GPS** – Desenvolvido pelos Estados Unidos, é o sistema de navegação por satélite mais amplamente utilizado no mundo. Consiste em uma constelação de satélites que transmitem sinais de rádio, permitindo que receptores na Terra determinem sua localização com precisão. O sistema permite encontrar a localização/posição de objetos especialmente em ambiente outdoor, sendo largamente utilizado em diferentes cenários e aplicações.
- **Galileo** – Desenvolvido pela União Europeia, o Galileo é um sistema de navegação global similar ao GPS. Assim como o GPS, o Galileo consiste em uma constelação de satélites que transmitem sinais para receptores na Terra. Uma das principais vantagens do Galileo é sua autonomia em relação ao GPS, fornecendo uma alternativa independente de navegação por satélite para os usuários europeus. O Galileo também promete maior precisão e integridade em comparação com o GPS.
- **Compass (*BeiDou Navigation Satellite System*)** – Desenvolvido pela China, o Compass (ou BeiDou) é um sistema de navegação global que inclui tanto serviços civis quanto militares. Similar ao GPS e ao Galileo, o Compass também consiste em uma constelação de satélites e oferece cobertura global. O Compass visa fornecer uma alternativa regional ao GPS, principalmente na região Ásia-Pacífico.
- **GLONASS** – Desenvolvido pela Rússia, o GLONASS é outro sistema de navegação por satélite global. Assim como os outros sistemas, ele consiste em uma constelação de satélites que transmitem sinais para receptores na Terra. O GLONASS é conhecido por sua forte presença na Rússia e nas regiões circundantes, oferecendo uma alternativa ao GPS em áreas onde o sinal do GPS pode ser fraco ou obstruído.

Contudo, devido à sua natureza, os sistemas GNSS não são os mais indicados para localização *indoor*, visto que a presença de vários obstáculos na linha de vista entre o satélite e o receptor do dispositivo atenuam significativamente a força do sinal. Os desafios da determinação da localização *indoor* incluem a atenuação do sinal de satélite através de estruturas, interferência *multipath*, a limitação de satélites visíveis e a necessidade de receptores sensíveis para distinguir entre sinais diretos e refletidos, aumentando assim os custos e a complexidade dos dispositivos.

2.3.2. Código de barras

O código de barras é uma tecnologia bastante utilizada para sistemas de rastreabilidade. Este tipo de tecnologia é composto por um conjunto de barras verticais espaçadas construindo um determinado padrão. Esse padrão varia de acordo com a largura das barras ou dos espaços, alterando o significado da mensagem. A mensagem pode ser numérica ou alfanumérica.

Existem diversos tipos de codificação, sendo contudo apenas utilizados atualmente cerca de 50. Existem 3 principais categorias de código de barras:

- **Linear:** É o tradicional código de barras, composto por barras pretas na vertical espaçadas de espaços brancos. Esta categoria permite escrever uma mensagem numérica de até 50 caracteres;
- **Bidimensional:** Códigos de barras bidimensionais ou *Quick-Response Code (QR Code)* são caracterizados pela sua alta capacidade de armazenamento dados. Esta categoria permite codificar uma mensagem alfanumérica com até 3750 caracteres e são atualmente amplamente utilizados para passagem de informação para smartphones (p. ex.);
- **Tridimensional:** O código de barras tridimensional é composto por barras pretas e espaços, mas ao contrário dos outros, as barras pretas têm relevo e é esse relevo que é responsável pelo conteúdo da mensagem e não a diferença entre o espaçamento das barras pretas.

De forma a descodificar a mensagem é necessário ler-se o código de barras com um leitor ótico de laser. O leitor vê as diferenças de reflexão feita entre as barras pretas que absorvem a luz e as barras brancas que refletem a luz.

Esta é uma das principais tecnologias na área da indústria por raramente apresentar erros na leitura, ser de fácil integração num sistema de rastreamento e ter um custo baixo de implementação e de operação. Do lado das desvantagens (que a torna menos adaptável para certos cenários), existe a facilidade de se danificar uma etiqueta de código de barras (devido a poeira, humidade ou radiação solar) e as necessidades da existência sempre de linha de vista direta entre o leitor e a etiqueta e de ter a etiqueta praticamente imóvel e/ou em uma determinada posição para que o leitor seja capaz de realizar uma leitura correta.

2.3.3. Infravermelhos

Os infravermelhos (IR) são um sistema de localização sem fios bastante comum. A região espectral dos infravermelhos é bastante usada para deteção e localização de objetos ou pessoas, estando presente em variados dispositivos sem fios tais como smartphones, comandos ou televisores. A maioria dos sistemas IR utiliza a LoS entre o recetor e o transmissor, onde não haja uma interferência de uma fonte de luz. As vantagens de se usar infravermelhos é o tamanho dos dispositivos ser reduzido e ser preciso na determinação da posição. Contudo uma das principais desvantagens de usar esta tecnologia é a falta de segurança e de privacidade, assim como, a possível interferência de luzes fluorescentes ou mesmo da luz solar.

2.3.4. Ultrassons

Os ultrassons são uma tecnologia baseada da natureza dos morcegos, ou seja, da sua capacidade de “ver” à noite através de ondas de ultrassons emitidas para estimar a posição dos objetos através do efeito eco. Apesar desta tecnologia não ser capaz penetrar objetos físicos e de sofrer bastante devido à interferência de outros aparelhos a funcionar à mesma

frequência, é uma das tecnologias mais precisas, conseguindo precisões de localização com margens de erro de poucos centímetros quando as condições são favoráveis.

2.3.5. Radiofrequência

Os sistemas de radiofrequência (RF) são geralmente usados para localização da posição de objetos ou pessoas. Ao contrário de outras tecnologias sem fios, os sinais RF têm a capacidade de atravessar obstáculos como paredes ou pessoas. Graças a isto, o RF é um sistema bastante usado para *tracking indoor*. Existem vários sistemas RF amplamente difundidos na sociedade e em ambiente industrial de onde se salientam os mais conhecidos: Wi-Fi, RFID, UWB, ZigBee e Bluetooth.

Wi-Fi

O Wi-Fi é talvez uma das tecnologias mais conhecidas de radiofrequência por ser o meio preferencial de ligação à internet de qualquer portátil, smartphone ou dispositivo sem fios. A tecnologia encontra-se estandardizada há várias décadas nas especificações IEEE 802.11 e tem sofrido constantes evoluções que têm aumentado significativamente a capacidade de comunicação (leia-se débito binário) e alcance. Trabalha preferencialmente na faixa de frequências dos 2,4 GHz e 5 GHz, sendo que atualmente, com a norma 802.11ax (Wi-Fi 6), começa também a usar as faixas de frequências dos 6 GHz. Devido às suas constantes evoluções existem várias normas em uso no padrão IEEE, como 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac e 802.11ax (só para referir os mais conhecidos comercialmente). Como se pode observar pela Tabela 2.2 [11], cada um dos protocolos tem as suas velocidades e alcances.

Tabela 2.2 - Tabela comparativa entre diferentes normas Wi-Fi

Padrão IEEE	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Ano	1999	1999	2003	2009	2014
Frequência	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz / 5 GHz	5 GHz
Taxa de dados max.	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	1.3 Gbps (Wave 1) 6.93 Gbps (Wave 2)
Alcance Interior (aprox.)	35 metros	38 metros	38 metros	70 metros	60 metros
Alcance exterior (aprox.)	120 metros	140 metros	140 metros	250 metros	280 metros

Relativamente à sua aplicação em sistemas de localização *indoor*, existindo inúmeros dispositivos que comunicam por Wi-Fi, a sua utilização é relativamente fácil, colocando-se vários equipamentos a enviar dados sobre aquilo que se pretende localizar permitindo realizar trilateração através dos AP (*Access Points*) existentes. A partir de uma análise do chão de fábrica consegue-se identificar os equipamentos e calibrar os mesmos de forma a

reduzir a distorção do sinal devido às máquinas, paredes ou obstáculos que se possam encontrar no caminho.

Ultra Wide Band

O UWB é uma tecnologia que utiliza pulsos eletromagnéticos para comunicação via rádio, com uma largura de banda muito grande (vários GHz) podendo utilizar os espectros desde os 3,1 GHz até 10,6 GHz. As vantagens da aplicação desta tecnologia são a facilidade de propagação do sinal, ou seja, mesmo que seja um ambiente com diversas barreiras físicas, apesar da existência de múltiplos sinais (devido ao multi-percurso), o sistema só utiliza sinal com o caminho “mais curto”. Como os pulsos estão espalhados numa grande largura de banda, o sinal é quase “oculto” para usuários externos, por ser difícil captar densidade de energia no sinal, tornando a rede mais segura. Outra vantagem é o facto de ser um sinal com baixa interferência. Esta tecnologia pode ser aplicadas em RF *tags*, que podem transmitir as informações armazenadas de um produto, sendo assim uma boa tecnologia para a aplicação num sistema de rastreamento. No entanto os *tags* utilizados tem um custo muito mais elevado face a outras tecnologias RF.

ZigBee

O ZigBee consiste num conjunto de protocolos de baixa transmissão de dados e funciona como uma rede sem fios de curto alcance. Utiliza o protocolo IEEE 802.15.4 como padrão de baixa transmissão de dados. É uma tecnologia de baixo custo e de baixo consumo que geralmente é utilizada em monitorização e automação de casas inteligentes. Sendo também uma tecnologia de radiofrequência, o ZigBee permite criar um sistema de localização *indoor* a partir de vários emissores, onde a sua posição pode ser predeterminada utilizando as técnicas anteriormente apresentadas, utilizando recetores aplicados em objetos ou pessoas que devam indicar a sua posição, quando detetados.

Bluetooth Low Energy

O BLE (*Bluetooth Low Energy*) é uma tecnologia que começou a fazer parte dos padrões Bluetooth a partir da série 4.0. Foi criado com a finalidade de ter um baixo consumo de energia associado à transmissão de dados não contínua, o que não acontecia com a sua versão clássica. Ao contrário do Bluetooth normal, este apenas envia um pequeno número de dados, sejam eles valores lidos por um sensor, pequenas mensagens ou até mesmo pequenos ficheiros. A tecnologia BLE tem vários protocolos que fazem com que um dispositivo possa trabalhar como controlador e *host*. O controlador é responsável pela camada física enquanto o *host* oferece suporte para as camadas superiores que interagem com aplicações. Os dispositivos em um sistema BLE podem ter um de dois papéis: *master* (que controla a comunicação) ou *slave*. O master permite a ligação até 8 *slaves* que se emparelhem com ele para que possam comunicar entre si, chamando-se isto uma rede *piconet*. Caso exista um segundo master que seja também ele próprio um *slave*, a rede pode ter mais dispositivos conectados, construindo-se assim uma rede mais alargada denominada *scatternet*. Por fim, as conexões entre os vários dispositivos podem ser feitas de forma assíncrona ou síncrona, sendo a sua escolha da responsabilidade do *master*. Conexões assíncronas, tem como função assegurar que os dados são bem transmitidos e bem recebidos, apesar de não existir uma data

de transmissão predefinida, recorrendo-se a vários sistemas de confirmação dos dados e se necessário, uma total retransmissão dos dados previamente enviados. Por outro lado, a conexão síncrona tem como objetivo a transmissão dos dados em intervalos regulares, mesmo que isso origine falhas ou erros de transmissão.

Radio Frequency Identification

A RFID é uma tecnologia de identificação por radiofrequência que oferece diversas aplicações. Entre os usos mais comuns estão a identificação de produtos, o rastreamento de objetos e pessoas, os sistemas antirroubo e o registo do tempo de duração de processos. Esta tecnologia, devido à sua versatilidade, pode operar em várias bandas de frequência, desde baixa frequência (centenas de Hz) até micro-ondas (GHz), normalmente associadas às bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que são de utilização livre (sem custos) desde que sejam cumpridos determinados requisitos. Uma das vantagens é que os *tags* podem ser muito económicos e ter um alcance de funcionamento até várias centenas de metros (dependendo do tipo da *tag* usada), o que torna esta tecnologia bastante atraente para sistemas de localização em ambientes fechados. Dado que este projeto se concentra no rastreamento de objetos e no registo da duração de processos industriais, é lógico usar uma tecnologia que permita a deteção de um objeto a uma longa distância. O sistema típico é composto por um leitor, uma antena e um *tag*. Esta tecnologia foi escolhida para a implementação do presente projeto e será detalhada no subcapítulo 2.4.

2.3.6. Comparação entre tecnologias

De forma a ser possível comparar as vantagens e limitações das diferentes tecnologias de rastreabilidade apresentadas, na Tabela 2.3 são apresentadas as principais características a considerar na escolha de um sistema: precisão, método de localização, cobertura, consumo energético e custo.

Tabela 2.3 - Tabela comparativa das tecnologias de rastreamento

Sistema	Precisão	Método utilizado para a localização	Cobertura	Consumo energético	Custo
GPS	6-10m	ToA	Bom Outdoor/ Mau Indoor	Muito alto	Alto
Infravermelho	1-2m	ToA, AoA	Indoor	Baixo	Medio
Wi-Fi	1-5 m	Proximidade, ToA, TDoA, RSSI, Fingerprinting	Indoor ou Outdoor	Alto	Baixo
Ultrassom	3cm-1m	ToA, AoA	Indoor	Baixo	Medio
RFID	1-2m	Proximidade, ToA, RSSI	Indoor	Baixo	Baixo
Bluetooth	2-5m	RSSI, Fingerprinting	Indoor	Baixo	Alto
ZigBee	3-5m	RSSI, Fingerprinting	Indoor	Baixo	Baixo
UWB	1cm-5m	Proximidade, ToA, TDoA, RSSI	Indoor	Baixo	Muito Alto

Como já referido anteriormente, face às suas características de adaptabilidade, consumo energético e custo reduzido, facilidade de implementação (entre outras) foi decidido que a tecnologia a usar no presente projeto seria a RFID pelo que será apresentada mais em pormenor no subcapítulo seguinte.

2.4. A tecnologia RFID – caracterização

Nesta secção será realizada uma caracterização da tecnologia RFID, abordando diversos pontos relevantes para a compreensão e análise do seu funcionamento e aplicação.

2.4.1. Contexto histórico

Definir com precisão o nascimento de uma nova tecnologia é sempre um desafio. No caso da RFID, essa tarefa torna-se ainda mais complexa, uma vez que alguns associam o seu surgimento ao aparecimento da rádio. No entanto, numa perspetiva mais avançada (extraída de um dos documentos mais citados sobre as origens da RFID), chega-se a afirmar que "as origens da RFID remontam aos primórdios dos tempos... Antes de qualquer outra coisa, no princípio, foi a energia eletromagnética" [12].

Deixando de lado estas ideias mais liberais e abrangentes, parece razoável dizer que o nascimento desta tecnologia está diretamente ligado à invenção do radar. Este foi criado em 1935 pelo escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt, sendo extensivamente utilizado e desenvolvido por todas as superpotências envolvidas na 2ª Guerra Mundial [13]. Um dos primeiros sistemas RFID a operar foi inventado em 1946 por Léon Theremin, que, após a 2ª

Guerra Mundial, desenvolveu um dispositivo de espionagem para o governo soviético, que retransmitia as ondas de rádio incidentes com informação áudio.

Um breve resumo da história da RFID é apresentado na Figura 2.8:

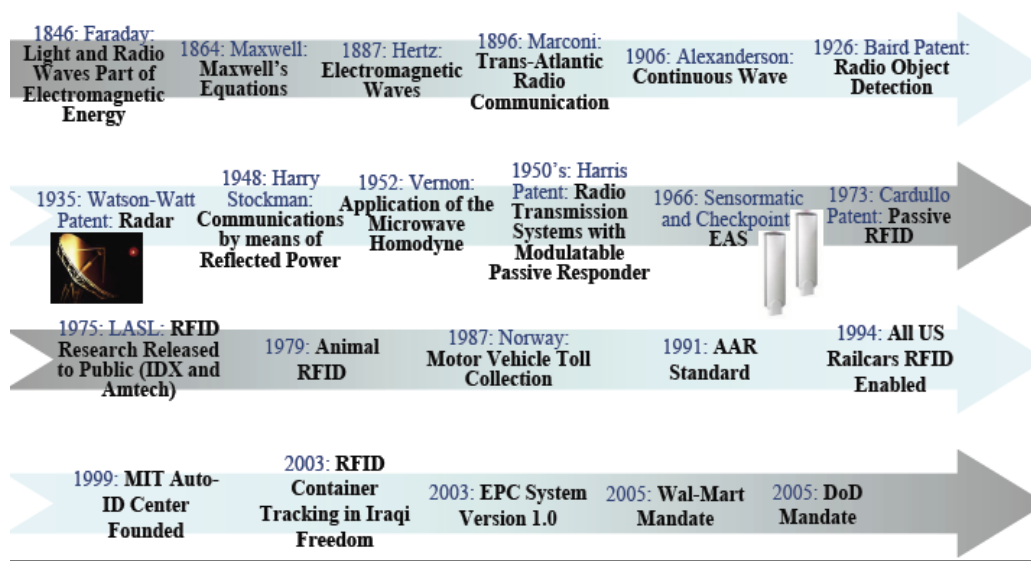


Figura 2.8 - Resumo da História da RFID

2.4.2. Constituição do sistema

Um sistema de RFID é basicamente constituído por dois grandes blocos: o *tag* e o leitor ou *Reader* representado na Figura 2.9.

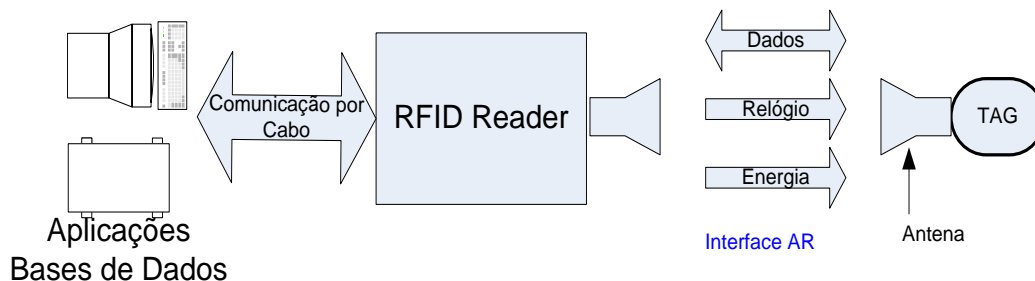


Figura 2.9 - Esquema de um sistema RFID¹

A *tag* (ou transponder) é um pequeno dispositivo que funciona como identificador do objeto ao qual está associado. Quando solicitado pelo leitor, devolve a informação armazenada no seu microchip, seja esta um simples bit ou uma pequena base de dados com o histórico do produto. É importante destacar que, embora este seja o método mais comum, existem *tags* ativas que transmitem informação sem precisar da solicitação do leitor.

O leitor pode ser visto como o “cérebro” de um sistema RFID. Isto porque é responsável pela ligação entre os sistemas externos de processamento de dados (como computadores com bases de dados) e as *tags*, além de gerir o sistema. Esta gestão pode incluir o controlo de

¹ Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook”, 2nd Edition ed. Wiley

acesso múltiplo (de várias *tags*), a rejeição de dados repetidos, a correção de erros, entre outras funções. A maioria destes processamentos são realizados no leitor devido ao facto de a *tag* ser um dispositivo pequeno e de baixa complexidade (e baixo custo), pelo que todos os mecanismos de segurança, gestão e controlo do sistema devem ser integrados no leitor. Consequentemente, o leitor é naturalmente maior, mais complexo e mais caro, podendo um sistema RFID básico ter apenas um leitor para dezenas ou centenas de *tags*.

2.4.3. Leitores

Como mencionado anteriormente, os leitores desempenham as funções de um controlador. Os controladores são responsáveis não apenas por gerir a(s) antena(s) conectada(s), mas também por administrar os dados, processando-os, armazenando-os e enviando-os para uma base de dados. A(s) antena(s) emite(m) ondas de rádio nas frequências da banda definida pelo controlador e possui características que se adaptam ao cenário de implementação. O tamanho e o ganho da antena geralmente determinam o alcance que consegue atingir. Além disso, outros fatores, como a polarização da antena, podem influenciar as áreas de deteção ou a precisão na leitura das *tags*. Uma antena com polarização direcional (horizontal ou vertical) pode alcançar distâncias maiores do que uma antena com polarização circular. No entanto, se a *tag* não estiver alinhada com a antena ou se houver um obstáculo entre a *tag* e a antena, a leitura correta da *tag* pode ser comprometida. Este problema geralmente não ocorre com antenas de polarização circular, que são menos sensíveis à "desorientação" das *tags* e à obstrução de objetos durante a leitura.

Ao escolher um leitor, vários fatores devem ser considerados, como o alcance, o tipo de tecnologia, o tipo de antena, a resistência a ambientes adversos, o preço, entre outros. Considerando o fator custo, há duas abordagens possíveis: uma solução mais económica, que, embora possa ser menos fiável, permite uma maior cobertura em áreas extensas devido ao menor custo dos equipamentos (a); outra solução mais dispendiosa, onde o risco de não cumprir os requisitos necessários é muito menor, mas que torna todo o sistema significativamente mais caro (b).

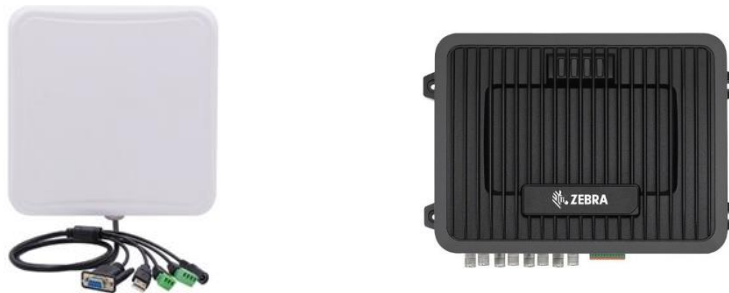


Figura 2.10 - Exemplos de leitores RFID: a) *low-cost*; b) *high-cost*

2.4.4. Etiquetas RFID

Existem duas categorias de *tags*: passivas e ativas. As *tags* passivas não possuem fonte de alimentação própria, dependendo da energia fornecida pelo leitor para funcionar e comunicar com ele (Figura 2.11a). Por outro lado, as *tags* ativas têm uma bateria embutida que lhes permite emitir um sinal mais forte (sem depender do leitor), ampliando o alcance da própria

tag. Esta diferença de funcionalidade faz com que as *tags* ativas sejam significativamente mais caras que as passivas (Figura 2.11b).

Além disso, existem vários tipos de *tags* projetadas para ambientes específicos. Existem etiquetas que podem ser anexadas a roupas ou plásticos, *tags* que resistem a altas temperaturas, a choques, à água e outros líquidos. Existem até *tags* especialmente desenvolvidas para objetos e/ou ambientes com grande presença de elementos metálicos. Essas *tags* têm a capacidade de minimizar os efeitos dos metais na recepção dos sinais eletromagnéticos, reduzindo problemas como reflexão de sinal e localização do *tag* na peça.



Figura 2.11 - Exemplos de *tags* RFID: a) passivas; b) ativas²³

2.4.5. Frequências de funcionamento

Conforme mencionado anteriormente, os sistemas RFID operam em bandas ISM que são de uso livre e, portanto, não implicam custos de utilização, desde que sejam cumpridos os requisitos estabelecidos pelas entidades reguladoras internacionais e nacionais, como a ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações). Esses sistemas aproveitam a existência de múltiplas faixas de frequência para a implementação de diversos sistemas distintos.

A banda LF (*Low Frequency*) opera entre 30 e 300 kHz, mas os RFID existentes nesta banda funcionam a 125 kHz. São frequentemente utilizados em RFID de identificação animal (como o microchip utilizado em animais de companhia), *tags*/cartões de acesso (utilizados para desbloquear portas), entre outros dispositivos de curto alcance.

A banda HF (*High Frequency*) opera entre 3 e 30 MHz, sendo que o padrão comum é operar a 13,56 MHz. Exemplos de sistemas nesta banda incluem os sistemas NFC (*Near Field Communication*), que podem ser considerados um subgrupo dos sistemas RFID.

Mais comum para sistemas de longo alcance, a banda UHF (*Ultra High Frequency*) opera entre 300 MHz e 3 GHz. O padrão UHF Gen2 dita que a frequência utilizável está entre 860 e 960 MHz, sendo o padrão europeu opera entre 860 e 880 MHz. Muitos sistemas funcionam nesta faixa de frequência, sendo um exemplo conhecido em Portugal o sistema Via Verde, utilizado pela empresa BRISA para a gestão e manutenção das autoestradas nacionais [14].

Nos últimos anos, têm surgido sistemas RFID que operam em faixas de frequência como 2,4 GHz e 5 GHz, acompanhando a evolução dos sistemas de comunicação e tirando partido das vantagens do uso destas frequências, como a redução significativa do tamanho das antenas necessárias, e conseqüentemente, das *tags*.

² Sandip Lahiri, “RFID Sourcebook”, IBM Press, September 2005

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification

Cada uma destas bandas tem características específicas e deve ser utilizada conforme o seu propósito. Enquanto as bandas LF e HF têm alcances mais limitados, com o primeiro alcançando apenas alguns centímetros e o segundo até cerca de um metro, a banda UHF consegue alcances de vários metros (dependendo da potência e do tipo de antena, podendo chegar até 12 a 15 metros no máximo). A

Tabela 2.4 resume as bandas de funcionamento dos diferentes sistemas de RFID, bem como a regulamentação, alcance típico, vantagens e alguns comentários.

Tabela 2.4 - Tabela indicativa das bandas de funcionamento da RFID

Frequência	Regulação	Alcance típico	Vantagens	Comentários
< 135 kHz	Banda ISM, alta potência	<10cm (passivo)	Boa penetração em líquidos	Access Control Animal tagging
6,78 MHz 13,56 MHz 27,125 MHz	Banda ISM, regulação praticamente igual em todo o mundo	<1m (passivo)	Penetração média em líquidos	Smart Cards, Access Control, Imobilização de veículos
433 MHz	Banda ISM para dispositivos de comunicação de curto alcance, Banda não uniforme	<100m (ativo)	Funciona bem em ambientes com metais	Tags activas
888-956 MHz	Banda não uniforme mundialmente	<10m (passivo US) <4m (passivo UE)	O melhor alcance para comunicações passivas	Normas Wal-Mart, DoD
2,45 GHz	Banda ISM	<3m (passivo) <50m (SAW)	Alternativa Para os 900 MHz	Wi-Fi, Bluetooth

2.4.6. Protocolos

Devido à diversidade de sistemas desenvolvidos e à variedade de bandas de frequência utilizadas em todo o mundo, criar protocolos e normas para regular os sistemas RFID era uma tarefa bastante desafiadora, especialmente sem um consenso entre os principais fabricantes desses sistemas. Os primeiros protocolos só surgiram na década de 90, com a rápida expansão dos sistemas RFID. No entanto, alguns dos protocolos destacados incluem:

- **ISO/IEC 18000 Part 6** – Air interface for item management at UHF
- **ANSI INCITS 256:2001** – American RFID standard for item management
- **ANSI MH10.8.4** – Application standard for RFID on reusable containers
- **ISO 18185 Electronic Seal Tags**
- **ISO 22389 RFID Read/Write for Containers**
- **Automotive Industry Action Group (AIAG) B-11 Tire and Wheel Identification**
- **IEEE-1451(.5)** - standard for wireless communication methods and data format for transducers (têm associado protocolos de Bluetooth e ZigBee).

Um marco significativo em termos de protocolos e normas foi o EPC Gen 2 (*Electronic Product Code Generation 2*). Este protocolo, desenvolvido pela TEXAS INSTRUMENTS em conjunto com outras 12 empresas (Avery Dennison, AWID, Datamax Corporation, FEIG, Paxar, Printronix, SATO, Sirit Inc., SAMSys, ThingMagic, WJ Communications e

Zebra Technologies Corporation), permitiu a criação do segundo grande protocolo para *tags* de UHF. Ele reuniu as melhores características do protocolo ISO/IEC 18000 Part 6, juntamente com novas e sofisticadas regras para promover um desenvolvimento mais consensual e avançado na indústria de RFID.

2.4.7. Tipos de comunicação

Até agora, os sistemas RFID têm sido predominantemente baseados na propagação de ondas de radiofrequência. Esse processo de comunicação, que ocorre por meio de um sinal sem fio entre o *tag* e o leitor, é chamado de acoplamento.

Na realidade, existem três principais tipos de acoplamento nos sistemas RFID:

- 1 - acoplamento indutivo, também designado por aproximação eletromagnética;
- 2 - acoplamento de propagação ou por radiofrequência;
- 3 - acoplamento por ondas acústicas de superfície.

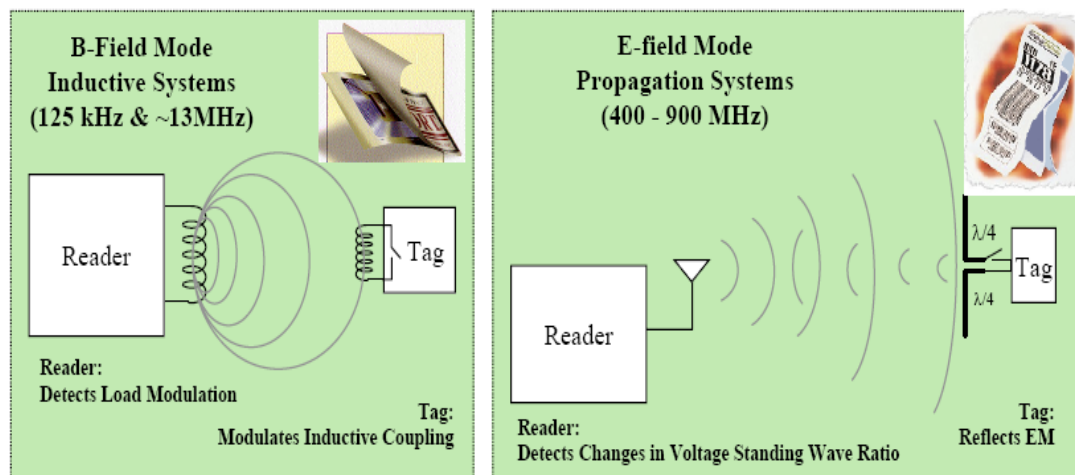


Figura 2.12 - Tipos de comunicação de um sistema RFID⁴

Nos sistemas de acoplamento indutivo, a comunicação ocorre pela alteração (modulação) dos campos eletromagnéticos ao redor das antenas. Este método de comunicação é bastante simples e baseia-se no princípio de ressonância dos circuitos LC. O leitor gera um campo magnético alternado com uma determinada gama de frequências. Se a frequência de ressonância do circuito LC estiver dentro dessa gama de frequências, haverá transferência de energia do leitor para o circuito ressonante através de sua indutância.

Nos sistemas de acoplamento de propagação, ocorre a modulação de um sinal RF, que é transmitido entre as antenas dos dois dispositivos, como em um sistema de rádio convencional. A forma como a informação retorna do *tag* para o leitor varia de acordo com o tipo de *tag* utilizado e o ambiente circundante, entre outros fatores.

Os sistemas de acoplamento por ondas acústicas de superfície utilizam o princípio da dispersão superficial das ondas acústicas a baixa velocidade, juntamente com o efeito piezoelétrico (conversão de sinal eletromagnético em ondas acústicas). Dentro do substrato

⁴ Raj Bridgelall, "RFID – Radar Technology for Commodity Goods", January 2004

piezoelétrico, há um transdutor eletroacústico (transdutor interdigital) e refletores, criados com elétrodos planares.

2.5. Conclusão de capítulo

No presente capítulo foram apresentados os principais sistemas de rastreabilidade e localização estudados no âmbito do presente projeto. Foram tomadas em considerações várias características importantes para a implementação do sistema para o cenário industrial a que se destina o presente projeto como por exemplo: localização *indoor*, ambiente hostil, capacidade de adaptabilidade, escalabilidade, precisão, consumo energético, custo, entre outros.

Após análise e ponderação de todos os fatores conclui-se que a melhor tecnologia a utilizar para o cenário proposto seria o RFID por:

- ser indicado para localização *indoor*;
- apresentar bastante adaptabilidade e escalabilidade;
- ser capaz de ligar com os ambientes hostis e com imensos elementos metálicos;
- ter a capacidade de ser facilmente implementado ser criar impacto nas estruturas já existentes;

Tomada da decisão da escolha da tecnologia a utilizar finalizou-se o capítulo com uma apresentação mais abrangente das características fundamentais do RFID.

3. Sistema de rastreamento

Pretende-se no presente capítulo expor um conjunto de requisitos e objetivos definidos como essenciais para o bom funcionamento do sistema. O sistema a desenvolver tem como objetivo a aquisição dos dados relativos à localização das diversas peças de um molde durante todo o seu processo de fabrico. Para se obter esses dados é necessário realizar uma análise do chão de fábrica, de forma a obter o *layout* da unidade industrial e o fluxo das peças. Neste capítulo serão apresentados dois sistemas de rastreamento: uma solução comercial e uma solução desenvolvida à medida das necessidades particulares da área de aplicação

Requisitos para o projeto

Conforme discutido nos capítulos anteriores, o sistema a desenvolver deverá que ser capaz de monitorizar as peças constituintes de vários moldes, permitindo a identificação dos principais constrangimentos e pontos de melhoria na linha de fabrico desses moldes. Os objetivos do trabalho a desenvolver incluem:

- desenvolvimento de um sistema de leitura, em sítios estratégicos para a monitorização das peças pretendidas;
- processamento e envio dos dados referentes à localização dos objetos para um concentrador de dados;
- análise e aviso (se possível em tempo real) dos principais constrangimentos e anomalias na linha de fabrico e montagem de um molde.

3.1. Análise do chão de fábrica

De forma a iniciar o primeiro requisito do ponto anterior, houve a necessidade de realizar um estudo do chão de fábrica por forma a compreender como todos os processos eram realizados e quais eram os dados mais importantes para o projeto (Anexo A – Relatório de problemas e riscos). Ficou definido que os dados principais seriam o tempo de maquinação e o tempo que cada peça estaria em uma determinada zona. Assim foram identificadas 5 zonas fundamentais (Figura 3.1):

- **Zona de fresagem CNC:** zona onde se encontram as principais fresas CNC. Esta zona é composta por outras duas subzonas com diversas máquinas com utilidade idêntica;
- **Zona de Erosão:** zona onde se encontra a maquinação EDM, local em que se realiza a erosão das peças. Esta zona é utilizada para realizar trabalhos que as CNC não são capazes de realizar, como o desbaste de certas zonas com ângulos demasiado grandes para uma fresa conseguir perfurar sem o risco de se partir.
- **Zona dos Eléttodos:** zona composta por um Robot e uma CNC e tem como função construir os eléctrodos que serão utilizados pelas máquinas da zona de Erosão.

montados, afinados e adicionados os sistemas pneumáticos e hidráulicos que permitem a injeção das peças plásticas finais.

Na zona de fresagem as máquinas mais comuns são as CNC. Estas máquinas são responsáveis por a realização de furos com maior dimensão e do desbaste de maiores dimensões. Também na zona da fresagem existem duas máquinas retificadoras, responsáveis por pequenos desbastes ou ajustes em peças com um tamanho standard, mas onde por exemplo são necessárias correções (desbastes) meio milímetro.

Por outro lado, na zona de erosão existem as EDM que como foi dito anteriormente, tem a função de não só realizar tarefas que as CNC não são capazes, como também dar textura a uma determinada peça.

Na zona de injeção, as máquinas de injeção têm como função testar o processo de injeção dos moldes. Cada máquina permite a utilização de um molde (podem ter tamanhos diferentes) e ter a capacidade de injetar um número de peças de plástico diferente. Por fim, a prensa serve para comprimir o molde e realizar os devidos ajustes com a ajuda de um produto chamado zarcão (pó vermelho com vestígios de óleo).

A forma como as peças entram e saem das máquinas também é importante para caracterizar a melhor maneira de detetar que uma peça se encontra numa determinada máquina. Existem diversos tipos de máquinas, e dentro dos mesmos tipos, existem diversos fabricantes, daí ser de esperar que a estrutura das máquinas possa ser algo diferente entre elas.

Relativamente às CNC, todas as máquinas são compostas por portas de correr lateralmente, à exceção das F31 e F30 que como são fresadoras manuais, não contêm uma estrutura em volta da frese. As Retificadoras também não possuem qualquer tipo de estrutura envolvente, sendo colocadas as peças diretamente. À semelhança das anteriores, praticamente todas as EDM não tem qualquer estrutura sendo as peças são colocadas de cima para baixo; a exceção são as máquinas E14 (caso especial), E03 e E05 que são estruturadas e tem uma porta de puxar. A Prensa tem um tapete onde se coloca o molde para se comprimir. Tanto a entrada como a saída são realizadas pelo tapete. Por fim, as máquinas de injeção contêm uma porta onde se consegue colocar e montar o molde.

O percurso que cada peça tem dentro das zonas identificadas depende diretamente do tamanho da peça. Tendo em conta que são peças de aço, quanto maior forem, mais provável será de serem transportadas pelas pontes, enquanto as mais pequenas serão mais provavelmente transportadas em carrinhos.

No interior de uma zona, uma peça pode ser transportada sem problema com qualquer um dos sistemas anteriores. Contudo, quando uma peça de grandes dimensões necessita de ser transportada entre diferentes zonas, terá de existir uma coordenação entre as pontes das diferentes zonas: por exemplo, da zona 1 a peça é transportada por uma ponte da zona 1 até ao pórtico de ligação com a zona 2. No pórtico existe um carrinho que serve para passar a peça da zona 1 para a zona 2, onde esta é recolhida por uma ponte na zona 2 e transportada para uma máquina ou bancada de destino. Um pórtico é o ponto de transição entre zonas, delimitando o limite entre cada uma delas.

3.2. Estudo das técnicas de localização de objetos em ambiente industrial

Nesta seção é apresentado um estudo sobre as técnicas de localização de objetos em ambiente industrial, com foco específico numa unidade fabril de produção de moldes de injeção de plásticos. O objetivo é analisar e comparar as técnicas de Trilateração, Triangulação e de Proximidade quanto à sua aplicabilidade e eficácia neste contexto específico.

Trilateração:

- Método: Calcula a posição usando a medição de distâncias a partir de três ou mais pontos de referência.
- Requerimentos: Pelo menos três pontos de referência com distâncias conhecidas.
- Precisão: Alta precisão quando os pontos de referência são bem distribuídos e as distâncias são medidas com precisão.
- Limitações: Requer sincronização temporal precisa entre os dispositivos e pode ser afetada por obstáculos e reflexões.

Triangulação:

- Método: Estima a posição com base nos ângulos de chegada do sinal em relação a diferentes pontos de referência.
- Requerimentos: Pelo menos dois pontos de referência, mas é preferível usar três ou mais para maior precisão.
- Precisão: A precisão pode variar dependendo da qualidade das medições dos ângulos e da presença de obstáculos.
- Limitações: Afetada por reflexões e requer antenas capazes de medir ângulos.

Proximidade:

- Método: Determina a posição com base na leitura do objeto quando se aproxima do recetor.
- Requerimentos: Pode ser implementada com uma ou mais antenas ou recetores.
- Precisão: Pode fornecer alta precisão em ambientes industriais, especialmente com múltiplos recetores. Limitações: A precisão pode ser afetada por interferências eletromagnéticas e pela disposição dos recetores.

Para ambientes industriais, especialmente para o caso específico do cenário de implementação, a técnica de proximidade parece ser a preferível. A técnica de proximidade determina a posição do objeto com base na sua leitura quando se aproxima do recetor. Ela pode ser implementada de várias maneiras, incluindo a detecção por contato físico, monitorização de pontos de acesso sem fio e observação de sistemas de identificação automáticos. A utilização de múltiplas antenas ou recetores pode reduzir significativamente a área de possível localização do objeto, aumentando assim a precisão do sistema.

A vantagem da técnica de proximidade em ambientes industriais é a sua capacidade de fornecer localização precisa mesmo em condições desafiadoras, como ambientes densos ou com obstáculos. Além disso, pode ser implementada com custos relativamente baixos e não

requer uma grande infraestrutura. No entanto, é importante considerar que a precisão pode ser afetada pela interferência eletromagnética e pela disposição dos recetores.

Em resumo, a técnica de proximidade pode ser a escolha ideal para ambientes industriais devido à sua precisão, adaptabilidade e custo-benefício.

3.3. Sistema de rastreamento propostos

O sistema que se pretende implementar é composto por um leitor, uma ou várias antenas e várias *tags*. Como já referido anteriormente, o leitor tem as funções de controlar toda a comunicação com as *tags*, bem como o processo de armazenamento de dados e do envio dos mesmos para uma base de dados. A antena é responsável por emitir e receber as ondas rádio dentro das frequências da banda que é definida pelo leitor, podendo cada antena ter características próprias que maximizem o alcance ou que permitam melhorar os sistemas de localização de uma *tag*, como por exemplo a sua diretividade ou a sua polarização como já referido na seção 2.4.3.

Urge referir neste ponto que para a implementação do projeto foi escolhido um sistema RFID na gama UHF (860 MHz). Esta escolha assenta nas características de maior alcance e a existência de *tags* anti-metálicas (características muito importantes para o projeto).

Como referido na seção 2.4.3, aquando da escolha dos leitores para o sistema a implementar, duas soluções foram consideradas: uma de *low-cost* e uma outra de *high-cost* (com uma diferença de custo de cerca de 10 vezes). Para a solução *low-cost* foi escolhido um leitor RFID UHF com antena integrada em conjunto com um microcontrolador ESP32 comunicando os módulos a partir da porta-série RS232. O ESP32 fará de interface com os restantes sistemas de armazenamento e processamento dos dados e tem a capacidade de comunicar de diversas formas: Wi-Fi, Bluetooth e LoRa. Tem ainda a capacidade de guardar os dados a partir de um módulo microSD e registar o tempo a partir de um módulo *Real-time Clock* (RTC) ou por uma biblioteca *Network Time Protocol* (NTP) que permite utilizar o horário *Universal Time Coordinated* (UTC). Existe ainda a possibilidade de associar ao microcontrolador módulos que permitam realizar outros tipos de medições como o consumo energético ou medição de temperatura.

Na escolha das antenas para o sistema (e conseqüentemente do leitor no caso *low-cost*), foi decidido utilizar antenas com polarização circular, pois assim a posição e a orientação da *tag* não é tão importante para a sua localização. Por fim, o Índice de Proteção (IP) da antena deve ser o 67, visto que o num ambiente hostil como o de fábrica, a antena deve ser resistente a pó, água, líquidos, descargas elétricas e queda.

Relativamente às *tags* RFID, tendo em conta o que foi referido anteriormente, estas têm de possuir as seguintes características:

- UHF RFID com uma frequência entre os 860 a 880 MHz;
- Têm de ser *tags* apropriadas para materiais metálicos;
- Fixação magnética para que seja possível alterar o sítio onde a *tag* se situa na peça e para uma posterior reutilização, caso seja necessário;
- Ser resistentes a temperaturas altas, pressão, choque e vibração;
- Ter um tamanho adequado.

Tudo isto fez com que a direção do projeto passasse por uma solução escalável onde se conjugam os dois sistemas. Um sistema *high-cost* construído com equipamentos da marca Zebra, juntamente uma solução *low-cost*, construído de raiz com leitores da marca CHAFON associados com microcontroladores da família ESP32, que permitisse não só poupar em termos de custos como dando outras vantagens como a falta de necessidade de cablagem (o que não acontece no primeiro apresentado).

Num contexto de gestão eficiente e monitorização precisa de processos industriais, a implementação de sistemas de rastreamento torna-se imperativa. O presente projeto propõe-se a explorar detalhadamente o funcionamento e a aplicabilidade de um sistema de rastreamento desenvolvido para otimizar a gestão de peças em ambiente industrial.

O sistema em análise baseia-se num fluxograma que delinea os procedimentos desde o momento em que uma peça é registada no posto inicial até ao seu término de registo. Quando uma peça é introduzida no sistema, a sua *tag* é associada e registada, permitindo a sua identificação ao longo de todo o processo.

Ao ser lida num ponto de registo, a peça é automaticamente associada à zona ou à máquina em que se encontra, atualizando-se assim o seu estado e localização. A dinâmica do sistema prevê três comportamentos distintos, dependendo do ponto de leitura: associação da peça à zona em caso de leitura num pórtilo, ligação à respetiva Ordem de Trabalho (OT) no caso de uma máquina ou término do processo se a leitura ocorrer na antena de término de registo.

Este sistema de rastreamento não só proporciona uma monitorização em tempo real das peças em trânsito, como também permite uma gestão eficaz do fluxo de trabalho, garantindo uma rastreabilidade completa e uma intervenção rápida em situações adversas. Ao compreender em detalhe o funcionamento deste sistema, estaremos preparados para explorar as suas potencialidades e contribuições para a indústria moderna.

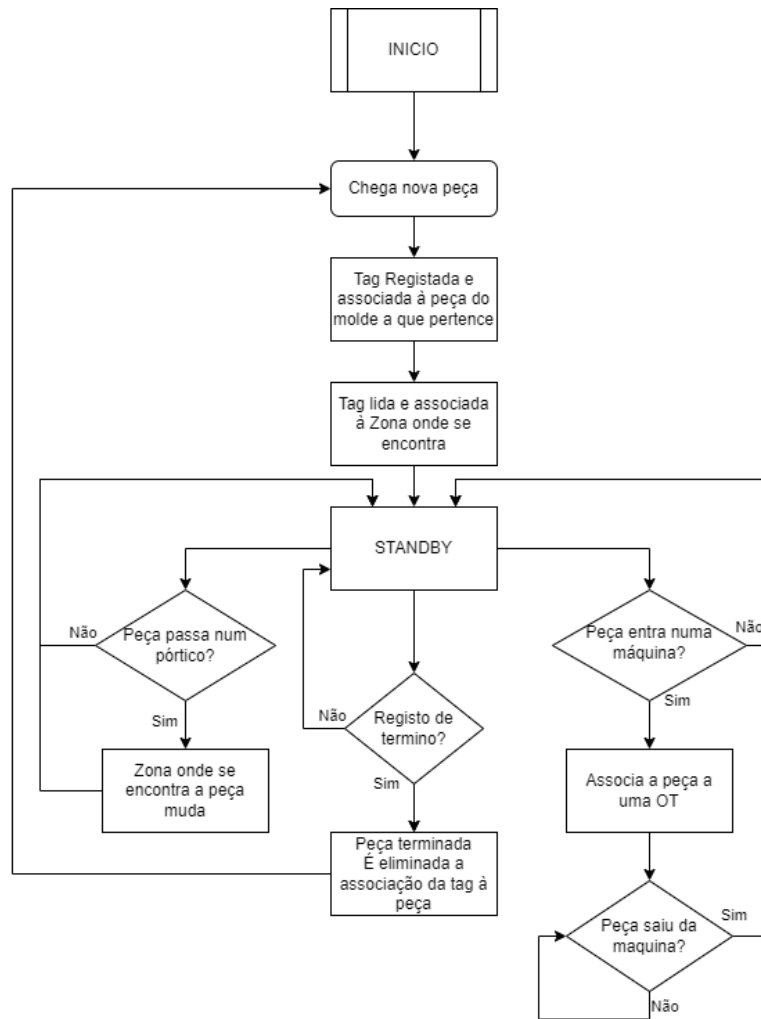


Figura 3.2 – Fluxograma geral do funcionamento do sistema de rastreamento

3.3.1. Sistemas de rastreamento comercial - ZEBRA

O sistema Zebra é composto por um leitor Zebra FX9600 que permite ligar até 8 antenas. Para os pórticos foram utilizadas 2 antenas Zebra AN720 enquanto nas máquinas foi utilizada apenas 1 antena Zebra AN480. O *layout* do sistema é apresentado na Figura 3.3.

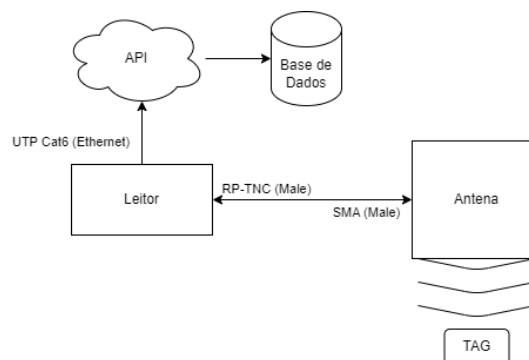


Figura 3.3 – Diagrama de bloco do sistema comercial - ZEBRA

Foram realizados os cálculos de perdas nos cabos (entre as antenas e o leitor) para estimação da potência do sinal emissor sendo apresentadas no Anexo B – Cálculo de perdas nos cabos (sistema Zebra). O sistema comercial de rastreamento RFID da Zebra apresenta um conjunto de vantagens e desvantagens, que são enumeradas de seguida:

Vantagens:

- Ligar até 8 antenas a cada leitor;
- Ser um sistema que permite configurar qualquer antena individualmente de forma fácil;
- Uma grande área de cobertura;
- Leitura até 200 *tags*/segundo
- Permite ligação POE (*Power Over Ethernet*) com o mesmo ganho que a ligação direta por transformador (30 dBm)
- Leitor de grande qualidade e fiabilidade;
- Sistema otimizado para trabalhar numa só zona;
- Aceder aos dados a partir do programa e exportar os mesmos via *Keyboard Wedge*, *RS232*, *Transmission Control Protocol (TCP) Port* ou *Hypertext Transfer Protocol (HTTP) Post*;
- Sistema com probabilidade de falha extremamente baixa.

Desvantagens:

- Necessita de um grande número de recursos (leitores e antenas independentes);
- Requer uma grande gestão e organização dos cabos RF (antenas↔leitor);
- Pode haver zonas onde as perdas nos cabos sejam elevadas, o que limita o desempenho do sistema;
- Sistema com um custo relativamente elevado.

3.3.2. Sistemas de rastreamento proposto – ASW e ASL

Os sistemas **ASW** (*Aquisition System with Wi-Fi*) e **ASL** (*Aquisition System with LoRa*) apresentam grandes potencialidades, pois podem ser configurados e programados para diversas finalidades. Em termos de hardware, os sistemas são compostos por um leitor CHAFON com antena integrada, conectado em série por meio de um conversor RS232-TTL (*Text to live*) a um microcontrolador ESP32. Os sistemas possuem ainda um leitor microSD. O microcontrolador é responsável por ler os dados de configuração do sistema, tais como o endereço e password da rede Wi-Fi, a máquina ou pórtico a que se encontra associado e os dados necessários para se conectar via HTTP na base de dados. Este módulo permite também armazenar todos os dados no cartão de memória, garantido uma salvaguarda em caso de falha de comunicação entre o sistema e a base de dados. Para além disso, armazena todos os dados de configuração como o SSID (*Service Set Identifier*), a password da rede Wi-Fi, o nome do módulo, o tipo de módulo (ASW ou ASL), o modo de funcionamento (*slave*, em ambos os sistemas, ou *master*, apenas no sistema ASL) e o intervalo de leitura.

Além disso, o sistema ASL possui a capacidade de comunicar via LoRa em áreas onde a comunicação por Wi-Fi não seja possível. Desta forma existem 1 ou vários *slaves* que

comunicam com um *master*, que é responsável por receber, organizar e enviar os dados para a base de dados via Wi-Fi.

Inicialmente, foi considerada o desenvolvimento de um *middleware* utilizado um Raspberry Pi, que albergaria um servidor NODE-RED para a comunicação via MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) com o ESP32. No entanto, devido às restrições impostas pela empresa, optou-se por realizar a comunicação diretamente com a base de dados, recorrendo a uma API (*Application Programming Interface*).

O esquema geral do sistema ASW e ASL encontram-se representado na Figura 3.4.

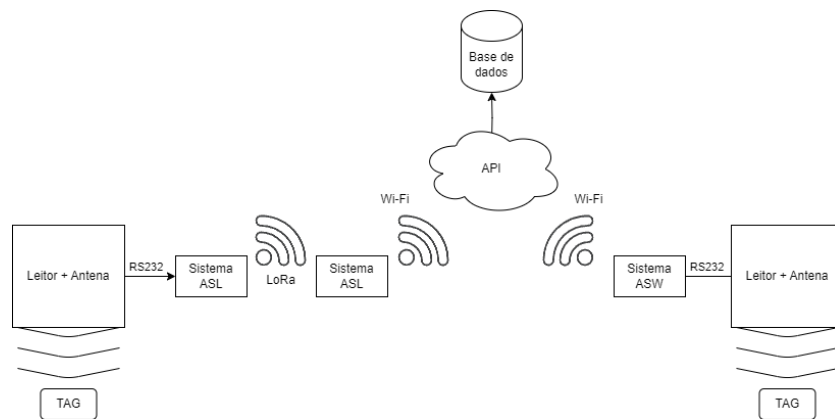


Figura 3.4 – Diagrama de bloco do sistema ASW/ASL

Os sistemas propostos ASW e ASL possuem características vantajosas e desvantajosas que serão enumeradas a seguir:

Vantagens:

- Configuração fácil e independente de cada leitor;
- Boa área de cobertura;
- Aceder aos dados a partir do programa e exportar os mesmos via Wi-Fi, LoRa e Bluetooth (ou fisicamente a partir de um ficheiro JSON (JavaScript Object Notation));
- Comunica sem fios entre os diferentes módulos de aquisição e comunicação;
- Sistema com um custo relativamente mais baixo;
- O sistema tem a possibilidade de recolher outros tipos de dados como o consumo energético de uma máquina ou a temperatura.

Desvantagens:

- O controlador tem de ser planificado, construído, programado e testado, o que pode demorar algum tempo;
- Fiabilidade menor;
- Os leitores têm de ser configurados individualmente;
- A utilização de muitos recursos pode levar a um tempo de calibração e ajuste das antenas elevado.

3.4. Modelo entidade-relacionamento

Um modelo Entidade-Relacionamento (ER) é uma representação gráfica usada para organizar e descrever a estrutura e organização de uma base de dados. É frequentemente utilizado na fase inicial da construção da base de dados para permitir visualizar as relações entre as diferentes entidades. A sua representação é feita a partir de retângulos e as relações são delineadas a partir de linhas ou setas. Cada entidade é composta por um ou vários elementos que descrevem os dados que albergam, assim como o seu tipo. Posto isto, o modelo ER realizado tem as seguintes características:

- As entidades representam a parte física do modelo, como por exemplo, as máquinas, as antenas ou as *tags*.
- Os atributos caracterizam as propriedades das entidades. Por exemplo, os atributos da máquina podem ser o nome, o ID, o modelo ou a data de instalação da mesma.
- Os relacionamentos representam a interação direta entre duas diferentes entidades e quais são os atributos que relacionam os 2 atributos. Por exemplo, uma antena de um pórtilco depende do pórtilco em que está e o pórtilco depende das 2 zonas que monitoriza.

A criação deste modelo permitiu assim construir e moldar as tabelas da base de dados que alimentam o software. Posto isto foram criadas as seguintes tabelas:

Tabela 3.1 - Tabela SBI_Zones

SBI_Zones:	<u>IDZone int NOT NULL</u>
	ZoneReference nvarchar(50) NOT NULL;
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.1 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das zonas (IDZone), onde se pode descrever a mesma a partir do atributo “ZoneReference”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação da zona enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.2 - Tabela U_BQDPortical

U_BQDPortical	<u>IDPortical int NOT NULL</u>
	PorticalReference nvarchar(50) NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.2 é responsável por atribuir um número identificativo para cada um dos pórtilcos (IDPortical), onde se pode descrever o mesmo a partir do atributo “PorticalReference”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do pórtilco enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.3 - Tabela SIR_Resource

SIR_Resource	<u>IDResource int NOT NULL</u>
	ResourceReference nvarchar(50) NOT NULL
	IDZone int NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.3 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das máquinas existentes (IDResource), onde se pode descrever a mesma a partir do atributo “ResourceReference”. Para além disso, é necessário atribuir-se uma zona ao *resource*, a partir do atributo “IDZone”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do *resource* enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.4 - Tabela U_BQDAntenna

U_BQDAntenna	<u>IDAntenna int NOT NULL</u>
	AntennaReference nvarchar(50) NOT NULL
	IDZone int NOT NULL
	IDPortical int NULL
	IDResource int NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.4 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das antenas existentes (IDAntenna), onde se pode descrever a mesma a partir do atributo “AntennaReference”. Para além disso, é necessário atribuir-se uma zona ao *resource*, a partir do atributo “IDZone”, um pÓrtico a partir do atributo “IDPortical” ou um *resource* a partir do atributo “IDResource”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação da antena enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.5 - Tabela SBI_ProductionParts

SBI_ProductionParts	<u>IDPeca int NOT NULL</u>
	Peca_Referencia nchar(6) NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.5 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das peças (IDPeca), onde se pode descrever a mesma a partir do atributo “Peca_Referencia”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação da peça enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.6 - Tabela SBI_OT

SBI_OT	<u>IDOT int NOT NULL</u>
	OTNumber nvarchar(20) NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.6 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das ordens de trabalho (IDOT), onde se pode descrever a mesma a partir do atributo “OTNumber”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação da ordem de trabalho enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.7 - Tabela SBI_Tags

SBI_Tags	<u>IDTag int NOT NULL</u>
	TagNumber nvarchar(50) NOT NULL
	IDOT int NOT NULL
	IDPeca int NOT NULL
	Active bit NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	UpdatedOn datetime NULL

A Tabela 3.7 é responsável por atribuir um número identificativo para cada uma das *tags* existentes (IDTag), onde se pode escrever o EPC da mesma a partir do atributo “TagNumber”. Para além disso, é necessário atribuir-se o ID de uma ordem de trabalho, a partir do atributo “IDZone”, o ID de uma peça a partir do atributo “IDPeca” e definir se a *tag* se encontra ativa ou não, a partir do atributo “Active”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do *tag* enquanto o “UpdatedOn” guarda a data da última alteração.

Tabela 3.8 - Tabela U_BQDRecords

U_BQDRecords	<u>IDRecords int NOT NULL</u>
	IDTag int NOT NULL
	IDAntenna int NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL

A Tabela 3.8 é responsável por atribuir um número identificativo para cada um dos registos de picagens existentes (IDRecords), onde se pode atribuir um ID da *tag* a partir do atributo “IDTag”. Para além disso, é necessário atribuir-se o ID de uma antena, a partir do atributo “IDAntenna”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do registo.

Tabela 3.9 - Tabela U_BQDRecordsHist

U_BQDRecordsHist	
	IDRecords int NOT NULL
	IDTag int NOT NULL
	IDAntenna int NOT NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL

A Tabela 3.9 é responsável por atribuir um número identificativo para cada um dos registos de picagens existentes (IDRecords), onde se pode atribuir um ID da *tag* a partir do atributo “IDTag”. Para além disso, é necessário atribuir-se o ID de uma antena, a partir do atributo “IDAntenna”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do registo.

Tabela 3.10 - Tabela U_BQDRecordsFilter

U_BQDRecordsFilter	
	IDRecords int NOT NULL
	IDTag int NOT NULL
	IDAntennaIn int NOT NULL
	IDAntennaOut int NULL
	CreatedOn datetime NOT NULL
	FinishedOn datetime NULL

A Tabela 3.10 é responsável por atribuir um número identificativo para cada um dos registos filtrados existentes (IDRecords), onde se pode escrever o ID da *tag*, a partir do atributo “IDTag”, o ID da antena do primeiro registo, a partir do atributo “IDAntennaIn” e o ID da antena do último registo, a partir do atributo “IDAntennaOut”. O atributo “CreatedOn” guarda a data de criação do registo filtrado enquanto o “FinishedOn” guarda a data de termino do registo. Criadas todas as entidades/tabelas apresentadas, juntaram todas no modelo ER presente na Figura 3.5.

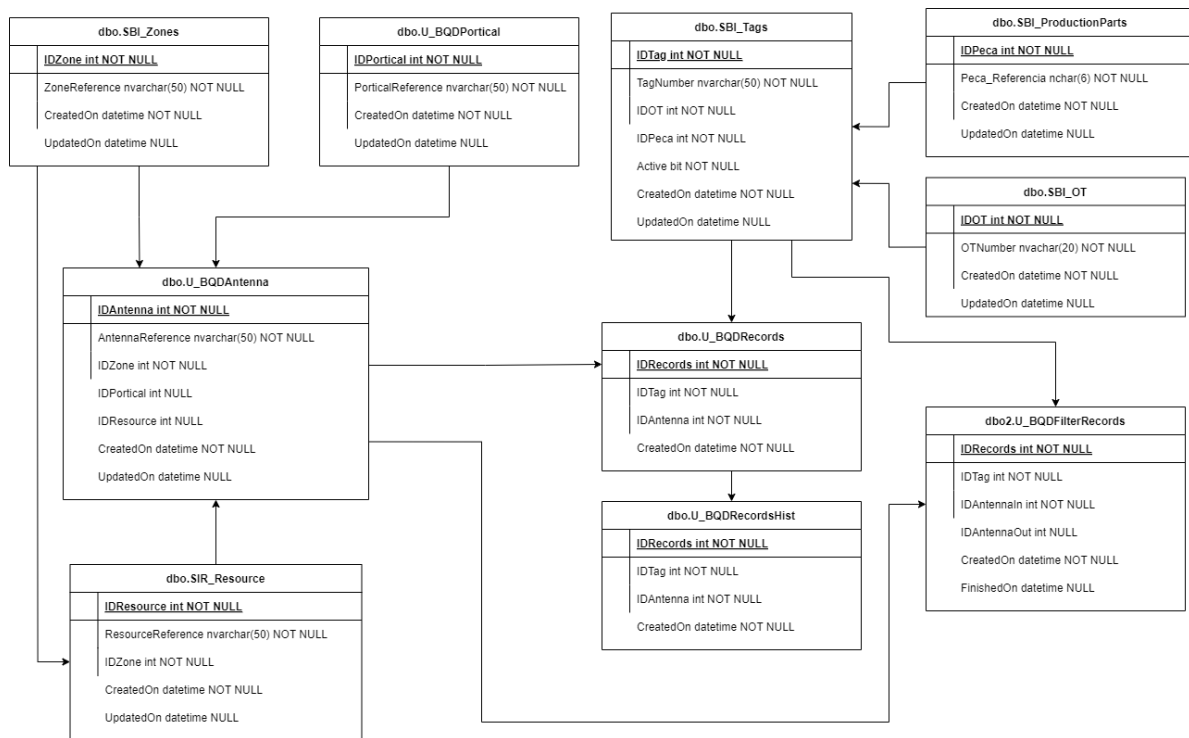


Figura 3.5 – Modelo ER

Analisando o modelo ER verifica-se que a tabela “SBI_Zones” fornece o ID da zona correspondente às tabelas “SIR_Resource”, que representa as máquinas e à “U_BQDAntenna” que representa as antenas. A tabela “U_BQDPortical”, fornece o ID do pórtico à “U_BQDAntenna”. Caso a antena “U_BQDAntenna” seja uma antena de uma máquina, os atributos preenchidos serão o “IDAntenna” (automático), “AntennaReference”, “IDZone”, “IDResource” e “CreatedOn”. Por outro lado, caso a antena “U_BQDAntenna” seja uma antena de um pórtico, os atributos preenchidos serão o “IDAntenna” (automático), “AntennaReference”, “IDZone”, “IDPortical” e “CreatedOn”. Os campos não preenchido ficam com o valor a NULL.

A tabela “SBI_ProductionParts” fornece o ID da peça correspondente à tabela “SBI_Tags”, que representa as *tags*. A tabela “SBI_OT”, fornece o ID da ordem de trabalho à “SBI_Tags”. Caso exista o registo de uma *tag*, os atributos a registar serão “IDTag” (automático), “TagNumber”, “IDOT”, “IDPeca”, “Active” e “CreatedOn”. Caso a *tag* se encontre ativa, o atributo “Active”, deverá estar a 1, caso contrário, deverá estar a 0. Os campos não preenchido ficam com o valor a NULL.

Quando existe uma picagem, a informação da *tag* (“SBI_Tags”) e da antena (“U_BQDAntenna”) que a leu, devem ser enviadas para a tabela “U_BQDRecords”. Caso haja um registo, os atributos a preencher serão “IDRecords” (automático), “IDTag2”, “IDAntenna” e “CreatedOn”.

A informação presente nesta tabela servirá para alimentar a função de filtragem presente no software e irá enviar os seus registos para outras duas tabelas. A tabela U_BQDRecordsHist, serve para guardar todos os dados de picagens descartados pela U_BQDRecords, enquanto

a tabela U_BQDRecordsFilter deverá guardar o primeiro e o último registo de um conjunto de registos feitos por uma antena numa determinada *tag*. Inicialmente a tabela são preenchidos os atributos, IDRecords, IDTag, IDAntennaIn e CreatedOn, e quando o último registo acontece, são preenchidos os campos IDAntennaOut e FinishedOn. Para a implementação do modelo ER, recorreu-se ao *software* Microsoft SQL Server Management Studio⁵.

⁵ <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/ssms/download-sql-server-management-studio-ssms?view=sql-server-ver16>

4. Implementação prática

O presente capítulo apresenta uma descrição detalhada e pormenorizada dos três sistemas de rastreamento: ASW, ASL e Zebra. Cada um destes sistemas desempenha um papel crucial na aquisição de dados e monitorização de atividades. Nos sistemas ASW e ASL, para além de discutir as suas funcionalidades, será explorado detalhadamente os seus circuitos eletrónicos, a implementação das PCBs e a construção da estrutura que suporta os sistemas. Todas as características técnicas apresentadas fornecem uma compreensão abrangente da sua estrutura e funcionamento.

Para além dos sistemas de rastreamento, este capítulo aborda a API de filtragem, um componente essencial que facilita a integração destes sistemas e o tratamento dos dados recebidos. A API desempenha um papel fundamental na otimização da eficiência das operações de rastreamento, permitindo uma análise precisa e rápida dos dados recolhidos.

Por fim, é apresentado o software de rastreamento, essencial para a deteção e monitorização contínua de eventos e padrões de interesse, por desempenhar um papel crucial na interpretação dos dados recolhidos pelos sistemas de rastreamento. Para além disso, permite ao utilizador associar as *tags* à respetiva peça do molde e localizar em tempo real qualquer peça que se encontre no chão de fábrica.

4.1. Esquema geral do sistema de rastreamento

A implementação do sistema de rastreamento baseado em RFID requer um estudo alargado da estrutura do chão de fábrica, dos tipos de equipamentos disponíveis no mercado e das melhores técnicas para adquirir e gerir os dados. Todos estes parâmetros podem fazer com que o sucesso do projeto oscile.

Para o presente projeto foi decidido construir um sistema escalável RFID, que permitisse a inclusão de um ou vários leitores ao sistema, independentes do tipo de comunicação, marca ou modelo.

Para a realização da prova de conceito, decidiu-se implementar dois tipos de sistemas RFID distintos:

- **Sistemas ASW e ASL** – Sistemas centrados num módulo ESP32 que tem como objetivo controlar os dados adquiridos de até dois leitores com uma antena integrada. Este sistema é composto por dois subsistemas, um que comunica por Wi-Fi diretamente com a base de dados (ASW) e outro que comunica por LoRa para um módulo central que é responsável por receber todos os dados e enviar os mesmos para a base de dados (ASL).
- **Sistema comercial Zebra** – Um sistema baseado num Leitor Zebra FX9600 que permite ligar até 8 antenas.

A implementação destes sistemas permite a obtenção dos dados do chão de fábrica a partir da colocação de antenas nas máquinas ou nos pórticos. Para isso selecionaram-se as *tags*

InLine Tag Ultra Mini, específicas para material metálico (designadas genericamente por tags anti-metal).

Os dados adquiridos pelos leitores são enviados para uma API responsável pelo seu tratamento, filtragem e transmissão dos mesmos para as respetivas tabelas da base de dados, como se pode observar na Figura 4.1.

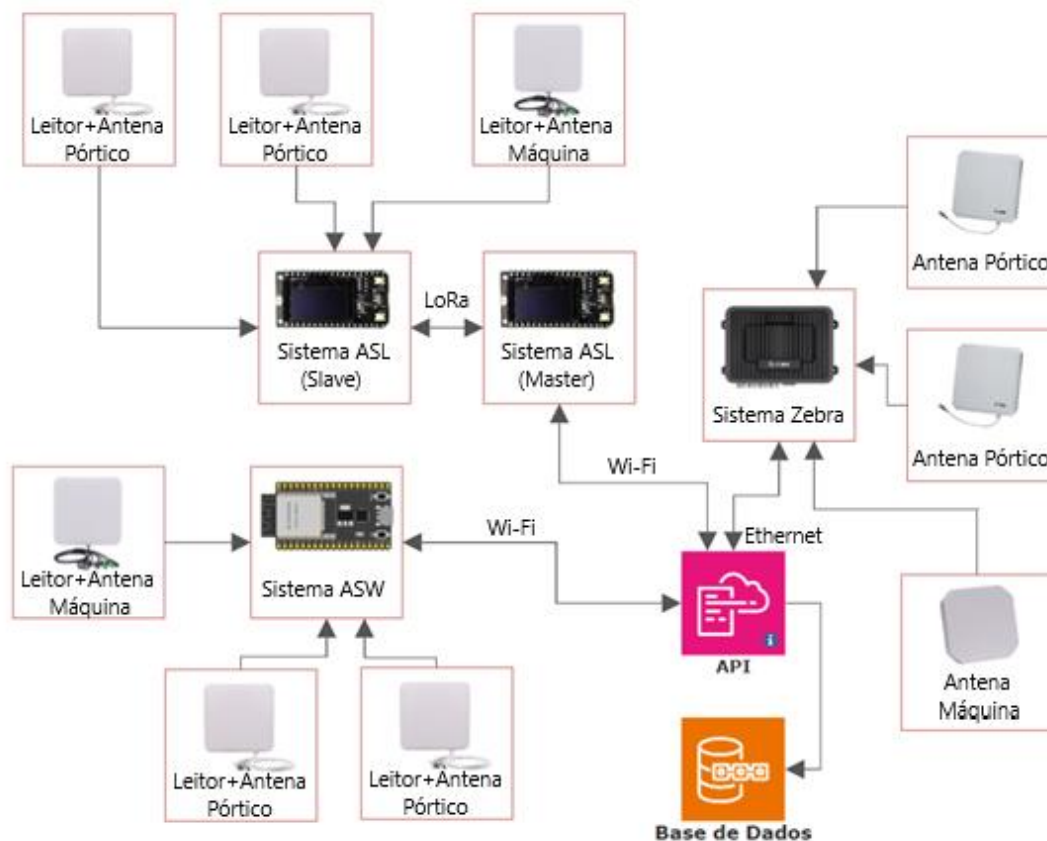


Figura 4.1 - Esquema geral do sistema de rastreamento RFID

Tendo em conta a análise do chão de fábrica previamente realizada, existem algumas restrições relativas ao tamanho das peças a rastrear e ao número reduzido de antenas que impossibilitavam cobrir todas as zonas. Face às limitações anteriormente identificadas, selecionaram-se as máquinas mais indicadas para que fosse possível implementar um sistema funcional.

Para isso selecionou-se a zona de fresagem CNC. Dentro da zona de fresagem, existem duas subzonas, denominadas por Zona 1 e Zona 2 respetivamente, que são delimitadas por pórticos. Foram selecionadas quatro máquinas (F16, F23, F32, F33) e os pórticos entre as zonas 1 e 2 e as zonas 2 e 3. Estas últimas foram selecionadas visto serem as zonas de passagem mais pequenas, pelo que seriam em teoria as zonas mais eficientes para implementar a solução (apresentado anteriormente na Figura 3.1).

Tendo em conta as características desta zona, optou-se por uma técnica de posicionamento baseado na proximidade de forma a minimizar erros na aquisição de dados devido a reflexões do sinal e para que fosse mais intuitivo aos operadores o processo de aquisição.

A primeira hipótese foi a utilização a micro *tags* embutidas nas peças que iam sendo lidas ao passar nas antenas. Contudo, devido ao facto de não ser fácil de localizar zonas da peça onde fosse possível colocar a *tag* sem que estas fossem destruídas e também por terem um alcance relativamente pequeno, foi necessário planear-se outra solução.

A solução implementada foi baseada em uma *tag* anti-metal. Devido a ser difícil fixar as *tags* a uma peça metálica, utilizaram-se ímanes para que fosse possível retirar a *tag* quando a peça passasse por um processo de maquinação, voltando a recolocar-se na peça no fim do processo.

As antenas dos sistemas Zebra e os leitores com antena integrada do sistema ESP32 foram fixadas nas máquinas de forma a dar um fácil acesso aos operadores para colocarem as *tags* na zona de leitura.

Os dados obtidos são enviados a partir de um HTTP *post* para uma API responsável pela gestão e filtragem dos mesmos. A API tem como função receber os dados num formato JSON com o nome da *tag*, da antena que a detetou e da hora em que foi feita a leitura. Com estes dados seria possível saber se aquela peça esteve numa máquina ou que passou num pórtico em um determinado momento.

Apesar de milhares destes dados serem enviados para a API (pois os leitores continuamente fazem a leitura das *tags* dentro do seu raio de ação), esta tem a capacidade de retornar apenas um registo com a hora de entrada e saída da máquina da respetiva antena ou da passagem por um pórtico. Isto possibilita recolher dados para validação de processos, fazer o caminho de um molde ao longo do seu processo de fabrico e/ou saber em tempo real onde cada peça se encontra. Todos estes registos são guardados nas respetivas tabelas da base de dados.

A base de dados foi planificada com base num modelo entidade-relacionamento que relaciona e interliga os diferentes dados, sejam eles, as zonas, os pórticos, as antenas, as *tags* ou os respetivos registos.

Por fim, foi criado um software onde é possível fazer o registo das *tags*, associando-as a uma determinada peça de um molde, ver onde cada peça se encontra em tempo real no chão de fábrica e qual foi o percurso que cada uma seguiu ao longo do seu processo de fabrico.

4.2. Sistemas ASW e ASL

A presente secção apresenta uma análise detalhada dos principais componentes essenciais ao projeto, incluindo o microcontrolador ESP32 DevKit v1 e o ESP32 SX1276 LoRa. Além da descrição do hardware utilizado, nesta secção também é abordada a implementação prática do *firmware*.

4.2.1. Hardware utilizado

Para o desenvolvimento dos sistemas ASW e ASL foram necessários os seguintes componentes:

ESP32 DevKit v1

De forma a realizar o processamento dos dados e a comunicação entre o sistema e a base de dados, escolheu-se o ESP32 DevKit v1, como se pode ver pela Figura 4.2.

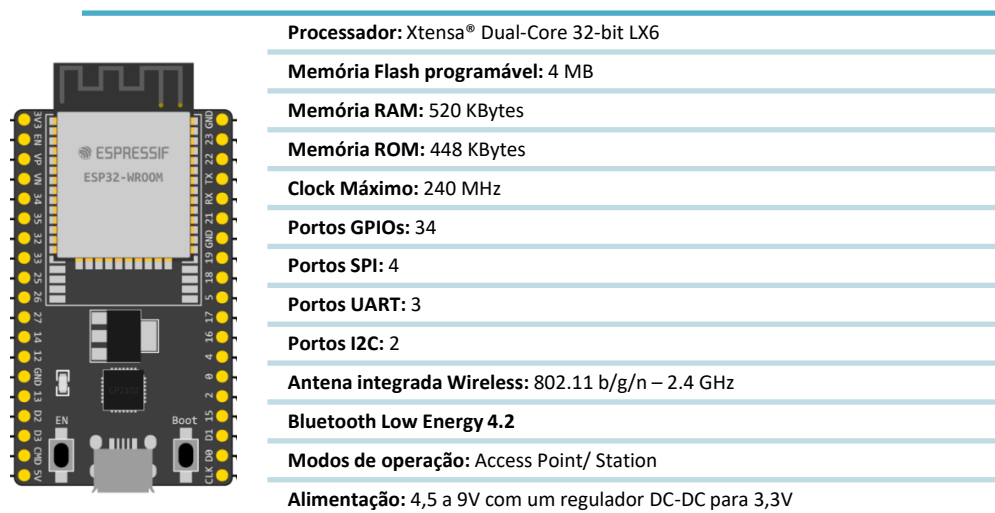


Figura 4.2 - Especificações ESP32 DevKit v1 (ESPRESSIF)⁶

O ESP32, desenvolvido pela empresa Espressif Systems, é uma placa de “sistema em um *chip*” (vários componentes eletrônicos em apenas um circuito integrado). Neste caso o microcontrolador já possui integrado uma componente de Wi-Fi e uma de BLE, operando os dois na banda de frequência de 2,4 GHz. Este dispositivo foi concebido para conseguir um melhor desempenho a nível de radiofrequência e ao mesmo tempo garantir uma grande robustez e uma ampla variedade de aplicações, podendo ser programado pelo utilizador. Em termos de processador, apresenta um *dual-core* (composto por dois núcleos) de 32 bit. Tem uma frequência de relógio até de 240 MHz e possui 34 pinos I/O. É possível encontrar ainda nesta placa um RTC (*Real Time Clock*), 4 comunicações SPI (*Serial Peripheral Interface*), 2 comunicações I²C (*Inter-Integrated Circuit*) e 3 comunicações série. Este dispositivo foi utilizado no sistema ASW.

⁶ <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/images/esp32-devkitC-v4-pinout.png> (acedido 03/2023).

ESP32 SX1276 LoRa

Este dispositivo, desenvolvido pela empresa *TTGO*, é uma versão muito semelhante ao ESP32 convencional, diferindo apenas pelo fato de possuir um display OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) e disponibilizar comunicação LoRa (SX1276) na frequência de 433 MHz. Este tipo de comunicação consegue alcances até alguns quilômetros. Em termos das tecnologias Wi-Fi e BLE possui as mesmas características do ESP32 convencional. Na Figura 4.3, encontra-se uma representação do dispositivo e as suas especificações técnicas. Este dispositivo foi utilizado no sistema ASL.


	Processador: Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
	Memória Flash programável: 4 MB
	Memória RAM: 520 KBytes
	Memória ROM: 448 KBytes
	Clock Máximo: 240 MHz
	Portos GPIOs: 34
	Portos SPI: 4
	Portos UART: 3
	Portos I2C: 2
	Antena integrada Wireless: 802.11 b/g/n – 2.4 GHz
	Chip LoRa: SX1276
	Frequências de funcionamento LoRa: 433, 868 e 915 MHz
	Ecrã: OLED 0,96 polegadas
	Bluetooth Low Energy 4.2
	Modos de operação: Access Point/ Station
Alimentação: 4,5 a 9V com um regulador DC-DC para 3,3V	

Figura 4.3 - Especificações ESP32 SX1276 LoRa (TTGO)⁷

Módulo MicroSD Card Reader

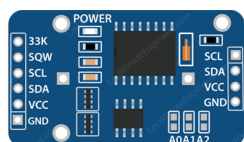
Este dispositivo permite o armazenamento de todos os dados relativos aos registos de ID, e é um dos mais importantes neste sistema. Todos os dados são armazenados num cartão de memória que depois será utilizado para guardar o histórico de leituras, o histórico de erros e o ficheiro de configurações. Em termos de ligações, o MicroSD Card Reader (Figura 4.4) tem: dois pinos de alimentação; dois pinos de comunicação entre o microcontrolador e o leitor: MOSI (*Master-Out Slave-In*) e o MISO (*Master-In Slave-Out*); um pino de relógio SCK (*Serial Clock*); um pino responsável por atribuir o uso do SPI para o MicroSD Card Reader, sempre que necessário; um pino CS (*Chip Selector*).

⁷ https://www.botnroll.com/img/cms/Pinout_ESP32_LoRa_868.jpg (Acedido em 03/2023)

Figura 4.4 - Módulo MicroSD Card Reader⁸

Módulo Real Time Clock

O RTC permite fornecer a data e a horas corretas ao sistema em caso de não ligação à internet. Isto é importante para atribuir um horário de leitura caso a comunicação com o servidor NTP (*Network Time Protocol*) não seja possível. Este módulo permite ser alimentado entre os 3 e os 6V. A RTC (Figura 4.5) contém ainda uma pilha para a alimentação da mesma no caso de falha do pino VCC mantendo o relógio ativo. A comunicação entre o módulo e o microcontrolador é feita através dos pinos SCL (*Serial CLock line*) e SDA (*Serial DAta line*).

Figura 4.5 - Módulo RTC⁹

Módulo Conversor RS232-TTL

O módulo RS232-TTL (Figura 4.6) é utilizado para realizar a comunicação entre um sinal TTL de um microcontrolador e a porta série de um dispositivo externo. É composto por um conversor DB9 (ficha de 9 pinos) onde pode ser ligado uma ficha DB9 fêmea de um dispositivo externo, por um pino RXD (*Receive Data*) para comunicar para o microcontrolador, um pino TXD para enviar os dados do microcontrolador para o dispositivo externo e os pinos VCC e GND para a alimentação. Este módulo pode ser alimentado entre 3 e 5,5 V.

Figura 4.6 - Módulo conversor RS232-TTL¹⁰

⁸ https://www.botnroll.com/4766-home_default/-modulo-leitor-de-cartoes-micro-sd-.jpg (acedido 03/2023).

⁹ <https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/arduino/DS3231-RTC-Module-Pinout.png> (acedido 03/2023).

¹⁰ <https://www.botnroll.com/pt/rs232/3402-m-dulo-conversor-rs232-ttl-max3232.html> (acedido 03/2023).

Módulo Relé

O módulo apresentado na Figura 4.7 permite ao microcontrolador controlar alimentação das antenas. O módulo tem duas funções de funcionamento: caso esteja ligado como *Normally-Open* (NO), o circuito está aberto quando o sinal está a “0” e fica fechado quando o sinal está a “1”; caso esteja no modo *Normally-Closed* (NC) realiza o processo oposto.



Figura 4.7 - Módulo Relé¹¹

Módulo de Alimentação

Para que todo o circuito seja alimentado é necessária uma fonte de alimentação para converter a tensão do transformador para as tensões de funcionamento dos restantes módulos. A fonte de alimentação apresentada na Figura 4.8 permite uma tensão de entrada entre os 6 e os 12 V, regulando para uma tensão de saída de 3,3 ou 5 V. A alimentação é feita a partir de um *jack* 5,5 mm e contém um interruptor ON/OFF que controla a entrada.



Figura 4.8 - Módulo de alimentação¹²

Antena LoRa

De forma a melhorar a força do sinal e ampliar o alcance de comunicação, substituíram-se as antenas LoRa originais por antenas (Figura 4.9) de ganho médio de 2,8 dBi.



Figura 4.9 - Antena LoRa¹³

¹¹ https://www.ptrobotics.com/14693-thickbox_default/1-channel-5v-relay-module.jpg (acedido 03/2023).

¹² <https://www.botnroll.com/pt/5v/2992-fonte-alimenta-o-3-3-5vdc-para-breadboard-funduino.html> (acedido 03/2023).

¹³ https://pt.mouser.com/images/pycom/images/LoRa-Sigfox_Antenna_Kit_SPL.jpg (Acedido em 03/2023)

LCD Oled

O LCD OLED (*Liquid Crystal Display OLED*) é um dispositivo compacto e de baixo consumo de energia, ideal para exibir informações nítidas e claras, através de uma interface I2C de comunicação. Este módulo foi apenas utilizado na segunda versão do sistema ASW, em paralelo com o módulo RTC.



Figura 4.10 - LCD OLED¹⁴

Leitores RFID da CHAFON

Para a identificação das tags utilizaram-se leitores da marca CHAFON com antenas RFID integradas. Foram selecionados 2 tipos de leitores:

CHAFON RU5306

O leitor escolhido para recolher os dados nas máquinas foi o CHAFON RU5306. Trata-se de um leitor de pequeno porte, com dimensões aproximadas de 19x19 cm, sendo as suas especificações técnicas apresentadas na Figura 4.11.

CHAFON RU5106


Para os pórticos, os leitores escolhidos foram o CHAFON RU5106. É um leitor de médio porte com cerca de 26x26 cm, sendo as especificações técnicas apresentadas na Figura 4.12.

	Frequência: 865-868MHz (Standard Europeu) e 902-928MHz (Standard Norte Americano)
	Protocolo: ISO18000/6C (EPC HEN2)
	Tipo de antena: Antena circular com 6dbi de ganho
	Modos: Ativo, Trigger e Resposta
	Potência RF máxima: 26 dbm
	Distância de leitura máxima: 5-6 metro (dependendo da tag)
	Comunicação: RS232, USB, WG26, TCP/IP
	Fonte de Alimentação: 9-24V

Figura 4.11 - Especificações do Leitor CHAFON RU5306¹⁵

¹⁴ <https://alexnld.com/wp-content/uploads/2020/12/73a38ae5-3e6b-4758-aa41-a5a7e4e1f3d4-500x500.jpg> (Acedido em 03/2023)

¹⁵ <https://alitoools.io/es/showcase/image?url=https%3A%2F%2Fae01.alicdn.com%2Fkf%2FH7c43d086fb7740139916e212483f0757W.jpg> (Acedido em 03/2023)



Frequência: 865-868MHz (Standard Europeu) e 902-928MHz (Standard Norte Americano)
Protocolo: ISO18000/6C (EPC HEN2)
Tipo de antena: Antena circular com 7dbi de ganho
Modos: Ativo, Trigger e Resposta
Potência RF máxima: 30 dbm
Distância de leitura máxima: 6-8 metro (dependendo da tag)
Comunicação: RS232, RS485, WG26, TCP/IP
Fonte de Alimentação: 9V

Figura 4.12 - Especificações do Leitor CHAFON RU5106¹⁶

Esquema de ligação do sistema proposto

A implementação do hardware necessitou de estudo aprofundado de modo a garantir uma boa gestão dos recursos dos microcontroladores e que todos os processos funcionariam em simultâneo.

O ESP32 DevKit v1 e ESP32 SX1278, apesar de apresentarem o mesmo controlador e estrutura similar, tem os pinos numa ordem diferente. Esta diferença deve-se ao facto de o ESP32 SX1278 conter o modo de comunicação LoRa e um *display* integrados.

De forma a cumprirem-se todos os requisitos de funcionamento, os sistemas são compostos por 2 módulos conversores RS232-TT (para receber os sinais de leitura dos leitores), por 1 módulo MicroSD *Card Reader* (para guardar todos os dados e configurações do sistema), por 1 módulo RTC (para se obter as horas), 1 Relé para se realizar o processo ON/OFF do(s) leitores(s), e por 1 LCD OLED que foi adicionado na segunda versão do sistema ASW.

No sistema ASW, o ESP32 está conectado com 4 módulos distintos (Figura 4.13). O módulo Micro SD *Card Reader* tem os pinos de alimentação VCC e GND conectado ao VCC (3,3V) e GND do ESP32, respetivamente, o pino MISO em série com uma resistência de 3,3kΩ está conectado ao GPIO 19 do ESP32, servindo como saída digital do ESP32, transmitindo os dados do microprocessador para o módulo. O pino MOSI está conectado ao GPIO (*General Purpose Input/Output*) 23, atuando como uma entrada digital, recebendo dados do módulo MicroSD *Card Reader*. Por fim, os pinos CLK (*CLock*) e CS estão conectados aos GPIO 18 tendo como função sincronizar a transmissão e receção dos dados entre o *master* e o *slave*, e ao GPIO 5 selecionando a linha de comunicação com o *slave* com que deseja comunicar, respetivamente. O módulo RS232-TTL tem os pinos de alimentação 3,3V e GND conectados aos pinos VCC (3,3V) e GND do ESP32 e os pinos RXD dos dois módulos conectados aos GPIO 4 e 16, configurados como entradas analógicas, recebendo os dados dos leitores CHAFON. O módulo relé tem as alimentações ligadas da mesma forma do módulo anterior, tendo um pino de sinal ligado ao GPIO 15 que ativa/desativa digitalmente o sinal, fechando o circuito quando o sinal enviado é “1” e abrindo o circuito quando o sinal enviado é “0”, tendo em conta que o circuito que passa no relé é NO. O módulo RTC, tem o

¹⁶<https://ae01.alicdn.com/kf/H925f95e874e14149a4264d1554bad028i/A-longa-dist-ncia-integrada-0-6-6m-da-antena-7dbi-do-leitor-da-frequ-ncia.jpg> (Acedido em 03/2023)

mesmo esquema de ligação nos pinos de alimentação, estando os pinos SDA e SCL conectado ao GPIO 21 e 22 respetivamente. Quando o ESP32 precisa de comunicar com o módulo RTC, ele transmite comandos e endereços de registo através dos pinos SDA e SCL, enquanto o módulo RTC responde com os dados solicitados. Esta comunicação bidirecional ocorre no barramento I2C, permitindo que o ESP32 leia e atualize a hora e a data do RTC conforme necessário, mesmo quando o sistema está desligado. Por fim, na versão 2 do módulo ASW, foi adicionado um LCD Oled conectado nos mesmos pinos de comunicação do módulo RTC (os pinos de saída deste módulo são os pinos de alimentação VCC e GND, e os pinos SDA e SCL. Com algum cuidado, foi realizado código que permitiu o funcionamento dos 2 módulos em simultâneo.

No sistema **ASL**, o ESP32 também está conectado com 4 módulos distintos (Figura 4.14). O módulo *Micro SD Card Reader* tem os pinos de alimentação VCC e GND conectado ao VCC (3,3V) e GND do ESP32, respetivamente, o pino MISO em série com uma resistência de $3,3k \Omega$ (ohm) está conectado ao GPIO 19 do ESP32 e pino MOSI está conectado ao GPIO 23, e os pinos CLK e CS estão conectados aos GPIO 18 e ao GPIO 5, respetivamente, realizando as mesmas funções acima referidas. O módulo RS232-TTL tem os pinos de alimentação 3,3V e GND conectados aos pinos VCC (3,3V) e GND do ESP32 e os pinos RXD dos dois módulos conectados aos GPIO 4 e 16. O módulo Relé tem as alimentações ligadas da mesma forma do módulo anterior, tendo um pino de sinal ligado ao GPIO 25. O módulo RTC, tem o mesmo esquema de ligação nos pinos de alimentação, estando os pinos SDA e SCL conectado ao GPIO 21 e 22 respetivamente. O módulo LoRa e o LCD como são integrados, não necessitaram de qualquer conexão externa.

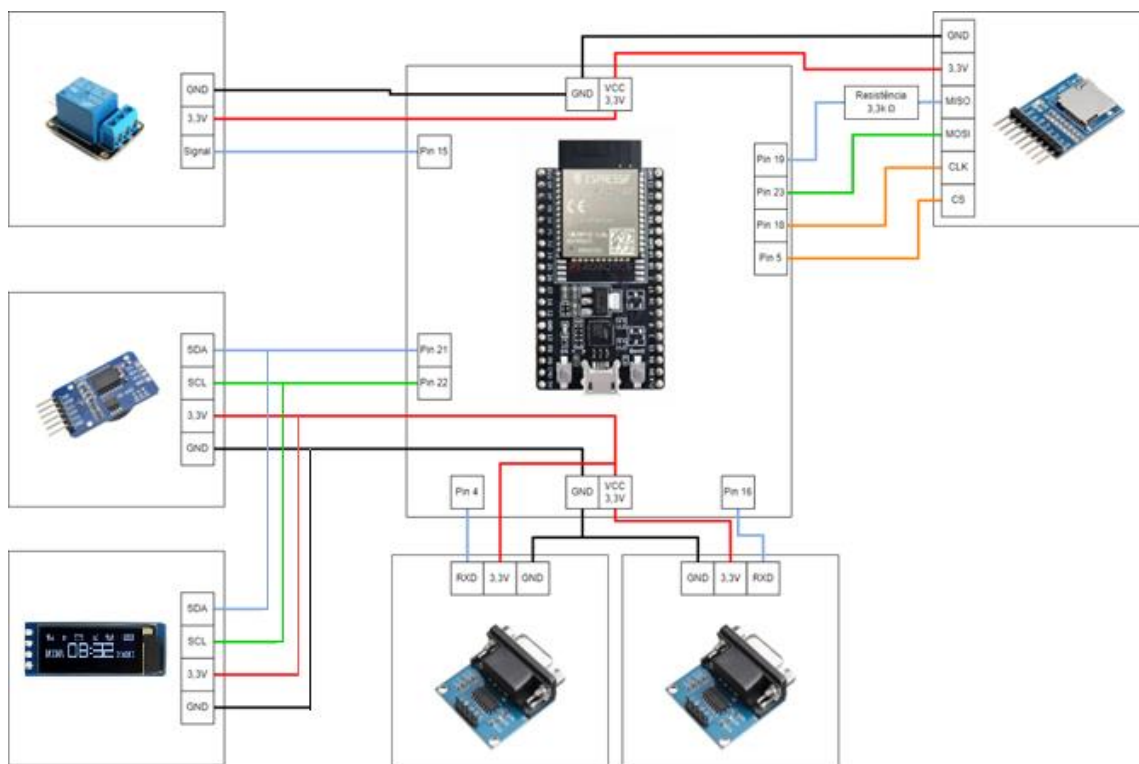


Figura 4.13 - Esquema de ligação dos módulos do Sistema ASW

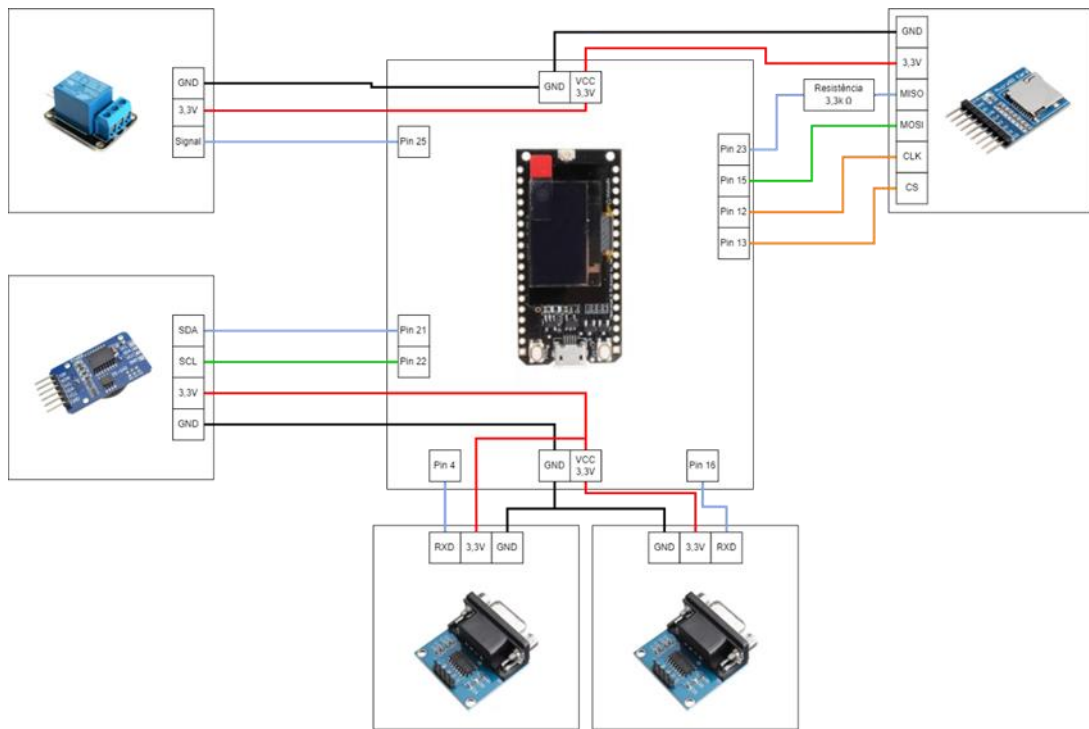


Figura 4.14 - Esquema de ligação dos módulos do Sistema ASL

Desenvolvimento das placas de circuito impresso

Após a experimentação em placa de ensaios de todas as conexões anteriormente apresentadas, recorreu-se à ferramenta EAGLE¹⁷ para desenvolver as placas de circuito impresso (PCB), com objetivo de tornar o sistema mais funcional e profissional. Nas Figura 4.15 e Figura 4.16 são apresentadas as PCBs, correspondentes aos sistemas ASW e ASL respectivamente.

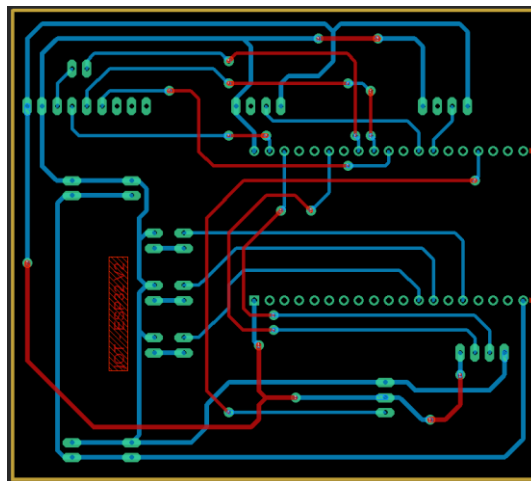


Figura 4.15 - Esquemático da PCB do sistema ASW

¹⁷ <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (Acesso 03/2023)

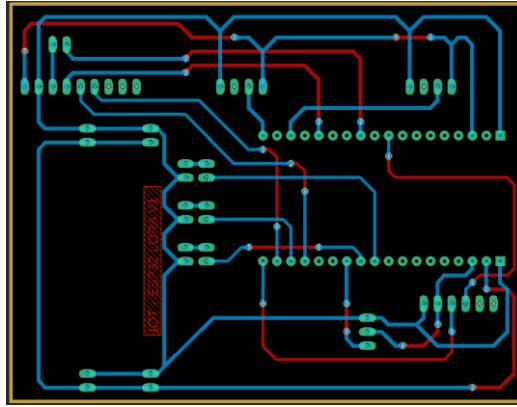


Figura 4.16 - Esquemático da PCB do sistema ASL

Ambas as PCB apresentam um tamanho reduzido e têm a vantagem de ser versáteis, visto terem sido preparadas para serem modulares, ou seja, qualquer módulo pode ser adicionado/retirado/substituído de forma rápida e fácil.

Caixa de proteção do protótipo

Por fim, para que todo o sistema ficasse protegido do meio envolvente e para que tivesse uma melhor aparência foi decidido construir uma estrutura estante em formato de caixa paralelepipedal. Utilizou-se a ferramenta FUSION 360¹⁸ para a realização do design 3D da caixa de proteção, tendo sido posteriormente impressa.

Sistema ASW

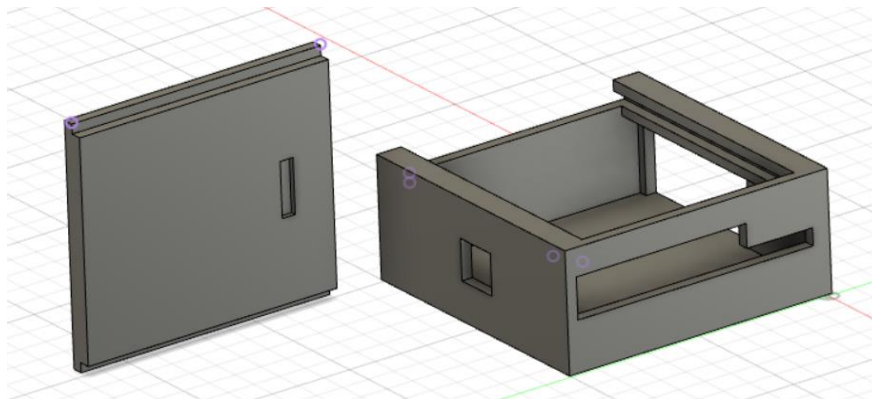


Figura 4.17 – Modelo 3D da caixa do sistema ASW

¹⁸ <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/personal> (Acedido em 03/2023)



Figura 4.18 – Aspeto final da versão 1 do sistema ASW



Figura 4.19 - Aspeto final da versão 2 do sistema ASW

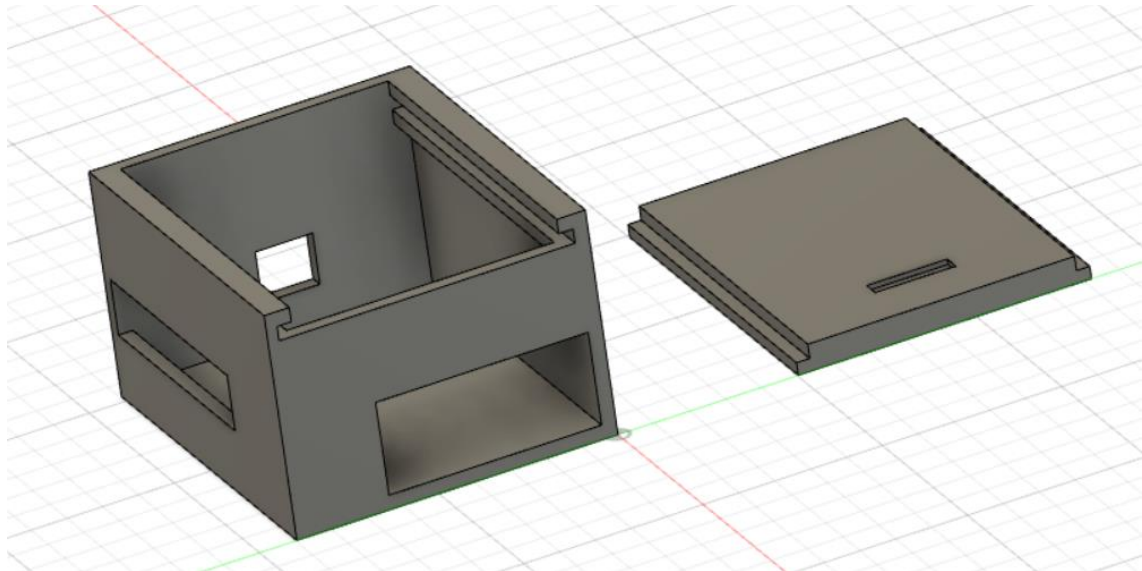


Figura 4.20 – Modelo 3D da caixa do sistema ASL



Figura 4.21 – Aspeto final do sistema ASL

4.2.2. Implementação do *firmware*

Um dos tópicos importantes para a realização do projeto é o desenvolvimento do firmware responsável pelo correto funcionamento de todos os módulos (especialmente dos microcontroladores). Uma das premissas importantes é de ser possível / dar liberdade ao utilizador de conseguir configurar todo o sistema de forma que obtenha o máximo de rentabilidade e eficiência. De maneira a realizarem-se todas as funcionalidades, recorreu-se à ferramenta Arduino IDE¹⁹.

Requisitos funcionais do sistema

O funcionamento de ambos os sistemas é muito similar na sua programação, contendo uma série de funcionalidades comuns. Cada sistema possui uma parte dedicada à aquisição e outra à comunicação dos dados (sendo nesta última que diferem um pouco).

A aquisição tem como função recolher os dados das *tags* a partir dos leitores e guardar os registos no cartão de memória. A comunicação serve para enviar os dados para a base de

¹⁹ <https://www.arduino.cc/en/software> (Acedido em 03/2023)

dados via Wi-Fi ou para enviar os dados via LoRa para um módulo central que depois envia os dados para a base de dados (Figura 4.22).

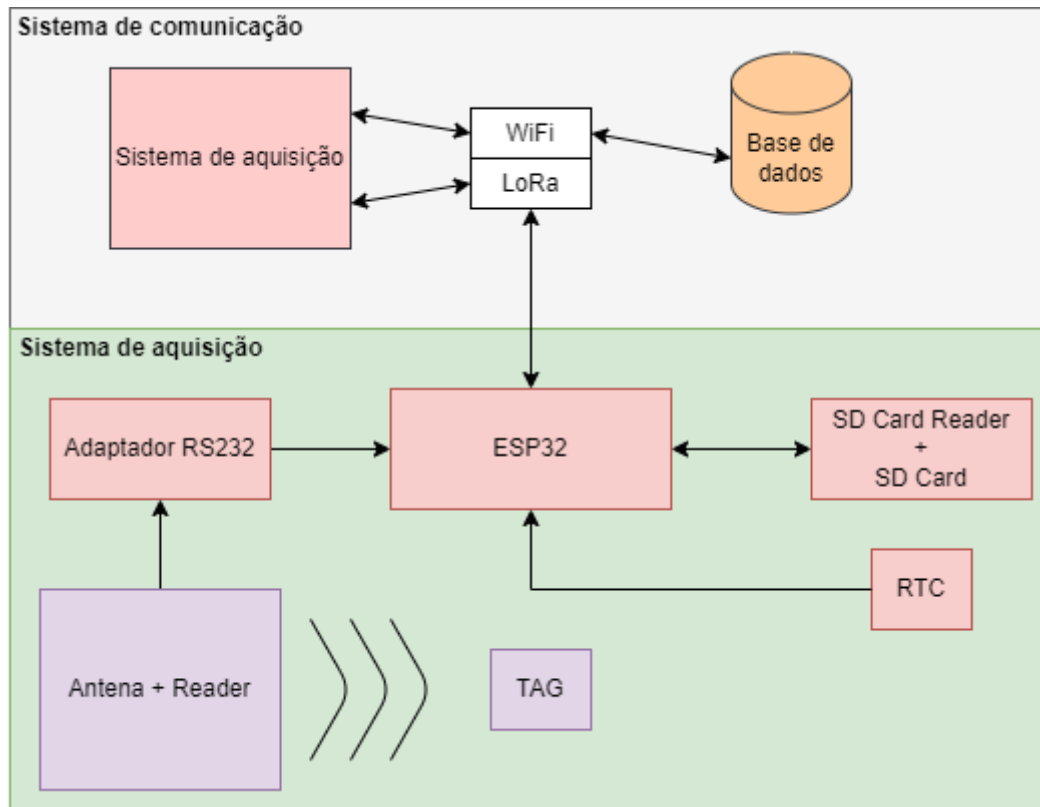


Figura 4.22 – Esquema de funcionamento do sistema ASW/ASL

No sistema de aquisição, várias funções foram criadas para garantir o seu funcionamento, adequado, incluindo:

Webserver e ficheiros de configuração

O sistema descrito é um servidor web baseado em ESP32 que permite aos utilizadores configurar e gerir um dos sistemas RFID. Este sistema disponibiliza diversas funcionalidades, desde a configuração dos leitores e da rede até à gestão dos dados recolhidos. Através de uma interface web acessível por um AP criado pelo próprio módulo ESP32, os utilizadores podem realizar várias ações, como configuração, download e eliminação de ficheiros, para além de visualizar registos recentes. O sistema integra ainda funcionalidades de armazenamento local e comunicação com uma API para validação de dados, assegurando um funcionamento seguro e eficiente.

Como se pode verificar pela Figura 4.23, o processo inicia com a ligação do módulo ESP32, que estabelece um AP onde os utilizadores acedem às configurações através do IP "192.168.4.1" ou "fileserv.local/". Nas configurações são introduzidos detalhes como credenciais de rede, configurações de leitores e restrições horárias. O sistema verifica a validade das configurações, incluindo as credenciais de rede, antenas na base de dados e restrições de horário. Se tudo estiver correto, o sistema cria um ficheiro de configuração, reinicia e abre o ficheiro. Os utilizadores autenticam-se na página inicial, onde têm acesso a

opções como configuração, download, delete e picks (picagens/leituras): a opção de configuração permite modificar as definições existentes; a opção download possibilita baixar ficheiros do cartão de memória; a opção delete permite apagar ficheiros (reiniciando o sistema se o ficheiro de configuração for eliminado); a opção “picks” mostra os últimos 50 registos.

Os dados dos leitores são enviados para a API por Wi-Fi, com processamento dual-core no ESP32 e validação pela API. Os dados são armazenados localmente com gestão de erros. Os utilizadores podem desconectar-se através da opção *logout*. O sistema continua a operar em loop enquanto estiver em funcionamento.

O *webservice* tem como função configurar cada um dos sistemas. Ao ligar o módulo, o sistema vai criar um AP com o nome “ESP32-RFID-System” (Figura 4.24). Realizada a conexão com as devidas credenciais, o utilizador deve colocar o IP “192.168.4.1” ou “fileserver.local/” no *browser* para que possa aceder às configurações do sistema.

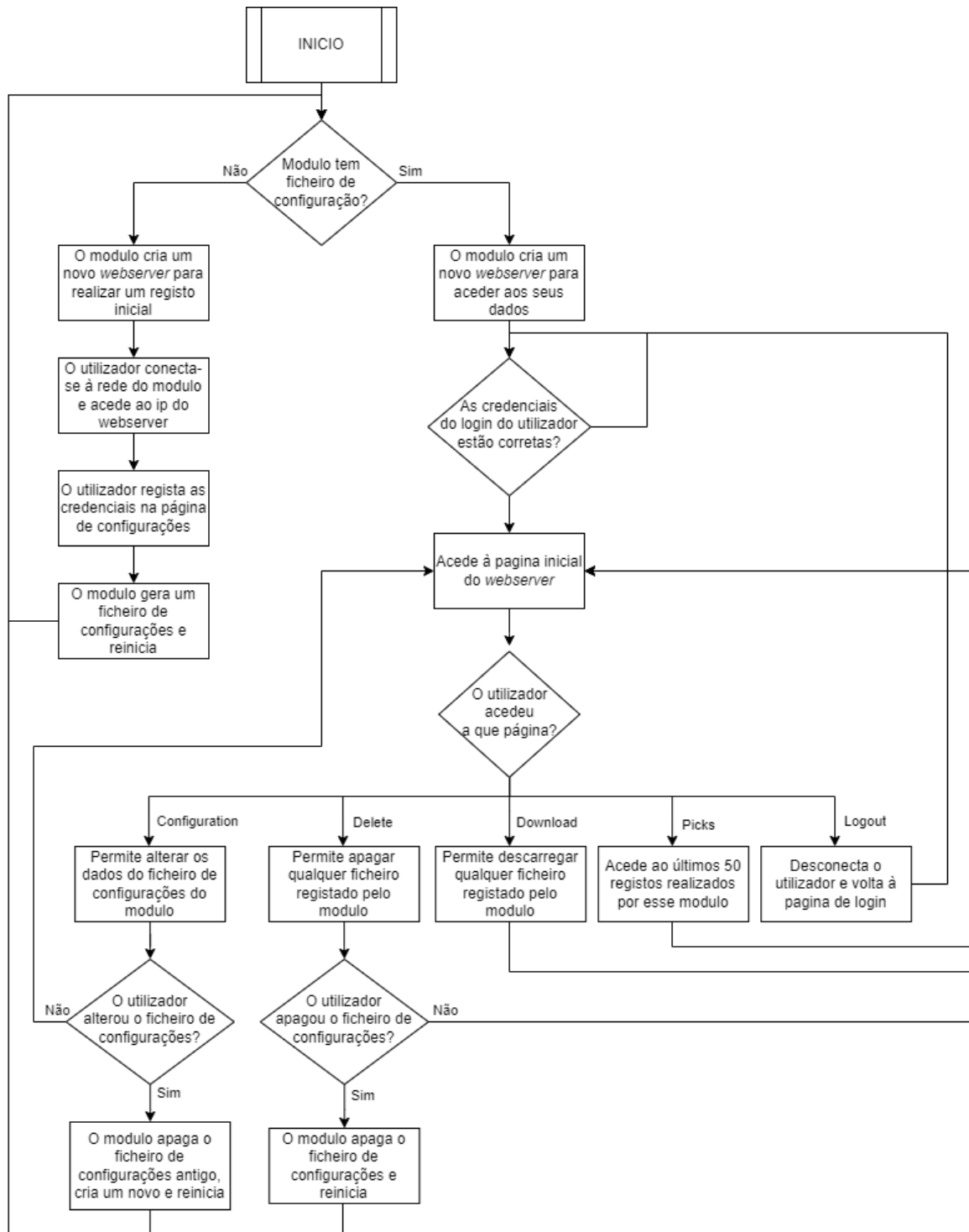


Figura 4.23 - Fluxograma do funcionamento do *webservice* dos módulos ASW/ASL

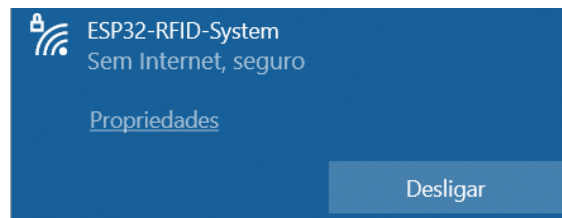


Figura 4.24 - Ligação à rede ESP32

Acedendo à página de configurações, o utilizador tem uma série de opções que pode realizar, como se pode observar na Figura 4.25.

A screenshot of a web configuration page titled 'ESP32 System 2.0 Configuration File Page'. The page has a light purple background. It contains several input fields and checkboxes. At the top, there are two checkboxes labeled 'Antenna 1' and 'Antenna 2', each followed by an empty text input field. Below these are two more input fields labeled 'Network' and 'Password'. Further down, there is a checkbox for 'Time restriction:' followed by 'Start' and 'End' time selection fields. At the bottom, there is a list of days of the week (Monday through Sunday) with checkboxes next to each. At the very bottom center, there is a blue button labeled 'Upload File'.

Figura 4.25 - Página inicial de configuração do sistema

Pode-se configurar até dois leitores, a rede e a palavra-chave à qual se deseja que o módulo esteja ligado, bem como a opção de restrição horária de funcionamento, limitando o funcionamento dentro de horário específico (determinando o início e fim) ou também limitando os dias da semana em que o sistema deve funcionar.

Depois de serem preenchidos os campos, o sistema faz uma série de verificações para confirmar se as configurações foram todas realizadas de forma correta. As credenciais da rede são verificadas pelo módulo, caso este se consiga ligar procede com as restantes verificações, caso contrário, aparecerá uma mensagem de erro.

De seguida são verificadas as antenas. Por cada módulo, tem de existir pelo menos uma antena (exceto o módulo central do sistema LoRa). O nome do leitor (“Antenna 1”/”Antenna 2”) inserido é enviado para a API que vai verificar se esse mesmo nome se encontra registado na base de dados. Em caso afirmativo, continua a verificação, caso contrário, apresentará

uma mensagem de erro. Esta verificação é importante para que os dados registados pelos módulos não sejam descartados posteriormente pela API (quando não o deveriam ser).

Por fim, são verificados os campos da restrição de horário. Caso esta opção seja ativada, deverá existir uma hora de início e de fim, assim como os respetivos dias em que este horário deve estar em funcionamento. Caso as restrições sejam válidas, o ficheiro de configurações é criado, caso contrário aparecerá uma mensagem de erro. A restrição de horário tem como função ativar e desativar o relé que é responsável por alimentar a antena com o leitor integrado e para colocar o ESP32 em *sleep mode*, desligando algumas das funcionalidades como o *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *LoRa*, comunicação para os módulos, deixando apenas a RTC ativa e alguma parte de processamento. Isto é especialmente importante por 2 motivos: redução do consumo energético; evitar o registo de leituras erradas fora do horário de funcionamento do sistema.

Se tudo estiver de acordo deverá surgir a página da Figura 4.26.

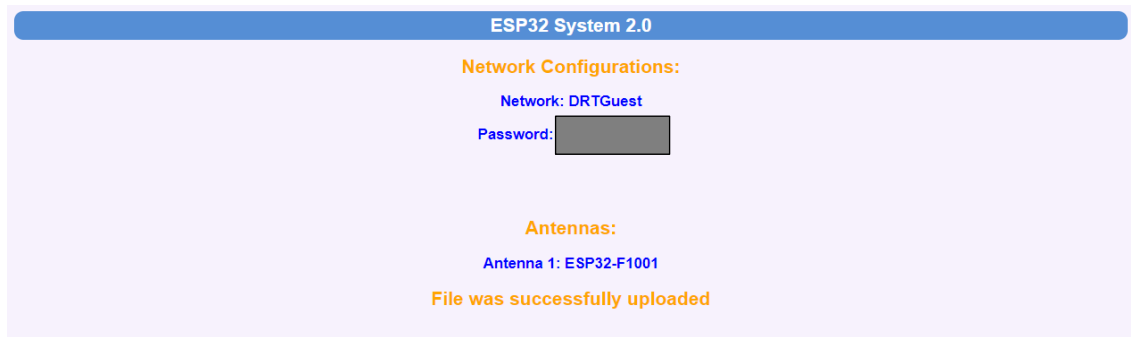


Figura 4.26 - Registo das credenciais e criação do ficheiro

O sistema irá reiniciar e abrir o ficheiro de histórico gravado com o nome “CONF.txt”. Caso seja um ficheiro do sistema ASW, terá a estrutura da Figura 4.27, caso seja do sistema ASL, terá a estrutura da Figura 4.28.

```

CONF - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
#CONFIGURACAO DO CONTROLADOR#
#Insira o numero de antenas utilizadas(Valor entre 1 a 2)!#
Nr Antenas=1
#Caso existam antenas ligadas, atribua o nome! (Se não existir, deixe em branco)!#
Antena 1=ESP32-F33
Antena 2=
#Insira o nome da rede e a palavra passe após o igual (Sem espacos)!#
Nome da rede=DRTGuest
Password=[REDACTED]t
#Insira o horario de trabalho do sistema (Horario OFF:0/ON:1)!#
Horario=0
Inicio (HH:MM)=
Fim (HH:MM)=
Dias da Semana=

```

Figura 4.27 - Ficheiro de configuração do sistema ASW

```
CONF - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
#-----CONFIGURACAO DO CONTROLADOR-----#
#Rede: 0(Wi-Fi) ou 1(LoRa)#
LoRa=1
#CONFIGURACAO LoRa#
#Modulo LoRa: 0(Receptor) ou 1(Emissor) (Se não existir, deixe em branco)#
Modo Lora=0
#CONFIGURACAO Wifi#
#Insira o nome da rede e a palavra passe após o igual (Se não existir, deixe em branco)!#
Nome da rede=DRTGuest
Password=[REDACTED]
#CONFIGURACAO Antenas#
#Insira o numero de antenas utilizadas(Valor entre 0(Sem antenas) a 2)!#
Nr Antenas=
#Caso existam antenas ligadas, atribua o nome! (Se não existir, deixe em branco)!#
Antena 1=
Antena 2=
```

Figura 4.28 - Ficheiro de configuração do sistema ASL

No ficheiro apresentado no Figura 4.28, é possível configurar o sistema em modo de comunicação LoRa ou Wi-Fi: na comunicação LoRa é um recetor que funciona como *master* (módulo central) ou um transmissor que funciona como *slave* (módulo de aquisição).

Se todo o sistema estiver corretamente configurado, o sistema iniciará e criará um novo *webserver* na rede onde foi configurado. Acedendo à página inicial, é solicitado ao utilizador que realize a autenticação, como ilustrado na Figura 4.29.

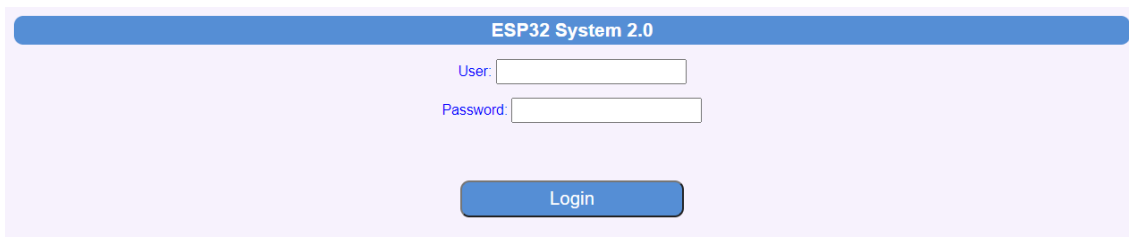


Figura 4.29 - Página inicial de Login

Se as credenciais estiverem corretas, irá aparecer uma mensagem de “Login”, caso contrário aparecerá uma mensagem de “Error”.

Realizado o “Login” a página principal irá surgir dando ao utilizador as seguintes opções:

- Configuration
- Download
- Delete
- Picks
- Logout

Como se pode observar na Figura 4.30, cada uma das opções tem um botão associado.

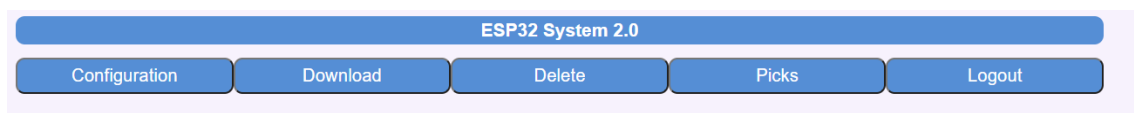


Figura 4.30 - Menu inicial do webservice

Ao aceder página “Configuration”, verifica-se que é idêntica à página de configuração inicial, no entanto, as configurações anteriores são preenchidas automaticamente, sendo necessário apenas alterar o estritamente necessário (Figura 4.31).

Figura 4.31 - Página de alteração das configurações

Na página “Download” (Figura 4.32) é possível descarregar qualquer ficheiro que esteja presente no cartão de memória, sendo importante caso se necessite aceder aos ficheiros.

Name/Type	Type File/Dir	File Size
/CONF.TXT	File	450 B
/Historico.txt	File	13.102 KB

Figura 4.32 - Página de download de ficheiros

Na página “Delete” (Figura 4.33) é possível apagar qualquer ficheiro que esteja presente no cartão de memória. Caso o ficheiro de configurações seja apagado, o sistema fará um *reset* e voltará a criar AP para configurar novamente o sistema (Figura 4.24).

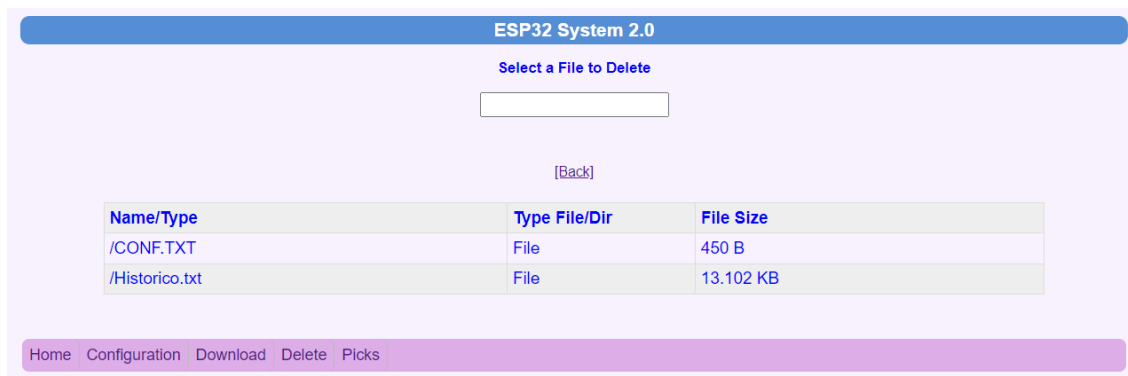


Figura 4.33 - Página de delete de ficheiros

A página “Picks” tem como função mostrar os últimos 50 registos realizados pelo sistema, (Figura 4.34).

ID	Antenna	Date
E28011606000020E09BB0D34	ESP32-F23	25/06/2021 15:08:18
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 15:08:22
E28011606000020E09BB0D34	ESP32-F23	25/06/2021 15:08:27
E28011606000020E09BB0D34	ESP32-F23	25/06/2021 15:12:41
E28011606000020E09BB0D34	ESP32-F23	25/06/2021 15:15:06
E28011606000020E09BB0D34	ESP32-F33	25/06/2021 15:15:11
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:08:56
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:09:03
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:09:07
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:09:20
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:09:26
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:10:03
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:10:10
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:23:01
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:23:07
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:24:22
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:24:28
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:24:31
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:24:54
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:25:15
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F33	25/06/2021 17:25:21
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:25:29
E28011606000020E09BAE424	ESP32-F23	25/06/2021 17:27:05

Figura 4.34 - Página dos últimos 50 registos

Armazenamento, gestão dos dados e comunicação com a base de dados

Quando o sistema se encontra em modo Wi-Fi, recolhe os dados dos leitores e envia-os diretamente para a API. O funcionamento do sistema é feito aproveitando as potencialidades dual-core do ESP32. Um dos core é responsável pela receção dos dados dos leitores e pela

comunicação com a base de dados e o outro é responsável pelos alertas (por via de LEDs) e pelo armazenamento dos dados localmente.

Quando uma *tag* é detetada na proximidade de uma antena, o leitor envia a informação da *tag* para o microcontrolador. A EPC da *tag* é decodificada e é criada uma *string* no formato JSON com os seguintes dados:

- ID Antena lida;
- ID Tag lida;
- Hora a que *tag* foi lida.

De seguida os dados são enviados por HTTP Post para a API. A API é responsável pela validação dos dados. Se forem válidos, a API guarda o registo, se não, descarta-os. Dependendo do resultado do envio, o sistema receberá um código que se divide em 3 categorias:

- Dados válidos;
- Dados inválidos;
- Erro de comunicação.

Se os dados forem válidos, o registo será guardado no ficheiro de histórico, se os dados forem inválidos, o registo será descartado e se existir um erro na comunicação, os dados serão guardados num ficheiro de histórico de erros.

A cada minuto, o sistema verifica se existem registos no histórico de erros, e caso existam, os registos presentes serão reenviados para a API novamente.

Comunicação LoRa

No modo LoRa, o sistema tem como objetivo recolher os dados, utilizando um recetor que recebe informações dos outros dispositivos e as envia para uma base de dados, onde são armazenadas no local apropriado.

O funcionamento do sistema é realizado aproveitando as potencialidades dual core do ESP32 à semelhança do modo Wi-Fi. No modo de aquisição de dados, um core é responsável por recolher os dados e guardar os mesmos e o outro core é responsável por comunicar via LoRa com o módulo central. No modo de receção de dados, um core é responsável pela comunicação com os restantes módulos via LoRa e o outro core é responsável por comunicar via Wi-Fi com a API e guardar os dados.

O módulo central encontra-se ligado à rede Wi-Fi e fica à “escuta” que os módulos de aquisição lhe façam um pedido de registo via LoRa. Quando este pedido é realizado, são trocadas entre eles as credenciais de registo de um novo módulo e o módulo de aquisição é registado num ficheiro “ModList.txt”, com todos os módulos que foram registados.

Quando existem módulos registados, a cada minuto, o módulo central faz um pedido de dados individualmente a cada módulo de aquisição sequencialmente. Se existirem dados, eles são enviados para o módulo central, se não, passa ao próximo módulo.

No final de percorrer todos os módulos, os dados recolhidos são enviados para a API e dependendo da resposta, serão guardados no ficheiro de histórico, descartados ou guardados num ficheiro de histórico de erros, como foi previamente apresentado.

4.3. Sistema comercial Zebra

O sistema Zebra é um sistema comercial que te como função criar e enviar os registos das peças, sendo constituído por uma componente de hardware e outra de software. Para a implementação do sistema na unidade fabril foi necessário projetar a localização, a posição e o número de antenas a serem utilizadas.

Para a implementação da componente de software, foi necessário utilizar a ferramenta Eclipse²⁰ na linguagem de programação JAVA.

4.3.1. Hardware utilizado

O sistema comercial Zebra é composto pelos seguintes componentes:

Leitor Zebra FX9600

O leitor Zebra FX9600 é responsável por controlar todos os processos de aquisição de dados das antenas. Trata-se de um leitor RFID de alta sensibilidade, capaz de realizar centenas de leituras por segundo. Além disso, este leitor pode ser conectado até 8 antenas, permitindo uma leitura sequencial em intervalos definidos pelo utilizador. As suas características técnicas são apresentadas na Figura 4.35.


	Processador: Texas Instruments AM3505 (600 MHz)
	Memória: 512 MB de flash; 256 MB de DRAM
	Sistema operacional: Linux
	Atualização de <i>firmware</i>: Recursos de atualização de <i>firmware</i> remota e pela Web
	Serviços de rede: DHCP, HTTPS, FTPS, SFTP, SSH, HTTP, FTP, SNMP e NTP
	Suporte a API: Aplicativos <i>host</i> – EMDK para .NET, C e Java e para aplicativos embutidos – SDK para C e Java
	Máxima sensibilidade de recebimento: -86 dBm
	Protocolos: ISO 18000-63 (EPC Classe 1 Gen 2 V2)
	Frequência de funcionamento: 865 MHz - 928 MHz
	Vedação: Alumínio fundido, atende aos padrões IP53

Figura 4.35 - Especificações do Leitor Zebra FX9600²¹

²⁰ <https://eclipseide.org/> (Acedido em 03/2023)

²¹ https://www.zebra.com/content/dam/zebra_dam/global/zcom-web-production/web-production-photography/web002/fx9600-photography-product-top-3x2-3600.jpg (Acedido em 03/2023)

Antena AN720

A antena AN720 é extremamente compacta e ideal para se colocar nas máquinas de forma a ser discreta e funcional, sem interferir nos processos dos operadores. As suas características técnicas são apresentadas na Figura 4.36.


	Ganho: 3 dBi
	Polarização: Circular
	Tipo: Indoor/outdoor
	Vedação: IP67
	Frequência de funcionamento: 865 – 928 MHz
	Resistências: Frio, calor, geada, humidade, chuva e vibração

Figura 4.36 - Especificações da antena AN720²²

Antena AN480

A antena foi projetada especialmente para ser instalada em pontos fixos de passagem, como os pórticos, devido ao seu reduzido ângulo de abertura de leitura por forma a conseguir uma maior ganho. As características da antena estão presentes na Figura 4.37.


	Ganho: 6 dBi
	Polarização: Circular
	Tipo: Indoor
	Vedação: IP54
	Frequência de funcionamento: 865 – 928 MHz
	Resistências: Frio, calor, humidade, chuva e vibração

Figura 4.37 - Especificações da antena AN480²³

Interconexões do sistema

Para o funcionamento completo do sistema, foi necessário conectar as antenas ao leitor através de cabos coaxiais. Dessa forma, o sistema ficou configurado conforme ilustra o esquema da Figura 4.38.

²²https://www.zebra.com/us/en/support-downloads/rfid/rfid-reader-antennas/an720/jcr:content/mainpar/columncontrol_ba02/col1par/imagecomponent_a65e/image.adapt.1280.jpg/1667256767324.jpg (Acedido em 03/2023)

²³https://cdn11.bigcommerce.com/s-im2p1/images/stencil/608x608/products/2070/5654/AN480lg_65764.1561653259.1280.1280_11888.1567615345.jpg?c=2 (Acedido em 03/2023)

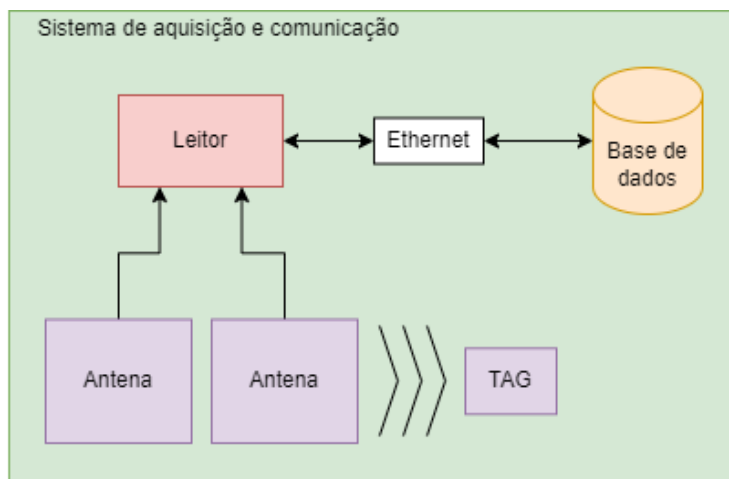


Figura 4.38 - Esquema de ligação do sistema Zebra

4.3.2. Firmware desenvolvido

Para configurar o sistema, foram necessárias algumas etapas preparatórias. Inicialmente, foi necessário descarregar a SDK (*Software Development Kit*) para o leitor Zebra FX9600. Utilizando ferramenta Eclipse, criou-se uma conexão com o sistema Linux do leitor, permitindo o controlo e a programação remota através da funcionalidade da máquina virtual presente no Eclipse.

A conexão foi estabelecida utilizando o IP do leitor, e acedeu-se ao mesmo a partir do utilizador "rfidadm", o perfil administrador com permissões para programar o leitor.

Posto isto, foi necessário analisar os exemplos, a documentação referente ao código e as bibliotecas fornecidas pela Zebra. Com base na informação fornecida, criou-se a função de leitura descrita no fluxograma da Figura 4.39.

A função de leitura inicia com a ativação do modo de leitura do leitor. O modo de leitura percorre sequencialmente cada uma das antenas durante 100 milissegundos. Durante os 100 milissegundos que a antena está ativa, esta deverá ler as *tags* que se encontram no seu campo de leitura, adicionando o número de leituras de cada *tag* a uma lista de *tags* lidas. Este processo é repetido durante K segundos. O valor K varia consoante o número de antenas ligadas no leitor (geralmente aumenta quanto maior o número de antenas) ou devido ao tipo de antenas que se encontram ligadas (quanto maior o número de antenas de pórtico, maior será o K) e dependendo de quantos ciclos forem determinados pelo utilizador.

Após a leitura ser realizada e de ser criada a lista de *tags* lidas, esta lista entra num ciclo *for*, que percorre todas as leituras feitas. Sempre que uma *tag* é adicionada à lista de contagem, é verificada a condição do número de vezes que a *tag* foi lida. Caso a *tag* tenha sido lida N vezes (definido pelo utilizador), é enviado um registo em formato JSON por HTTP Post para a base de dados, e os registos anteriores desta *tag* são apagados. O número N de leituras, à semelhança do valor K acima citado, depende também do tipo de antenas que existem no leitor (quanto mais antenas dos pórticos, menor será o valor K).

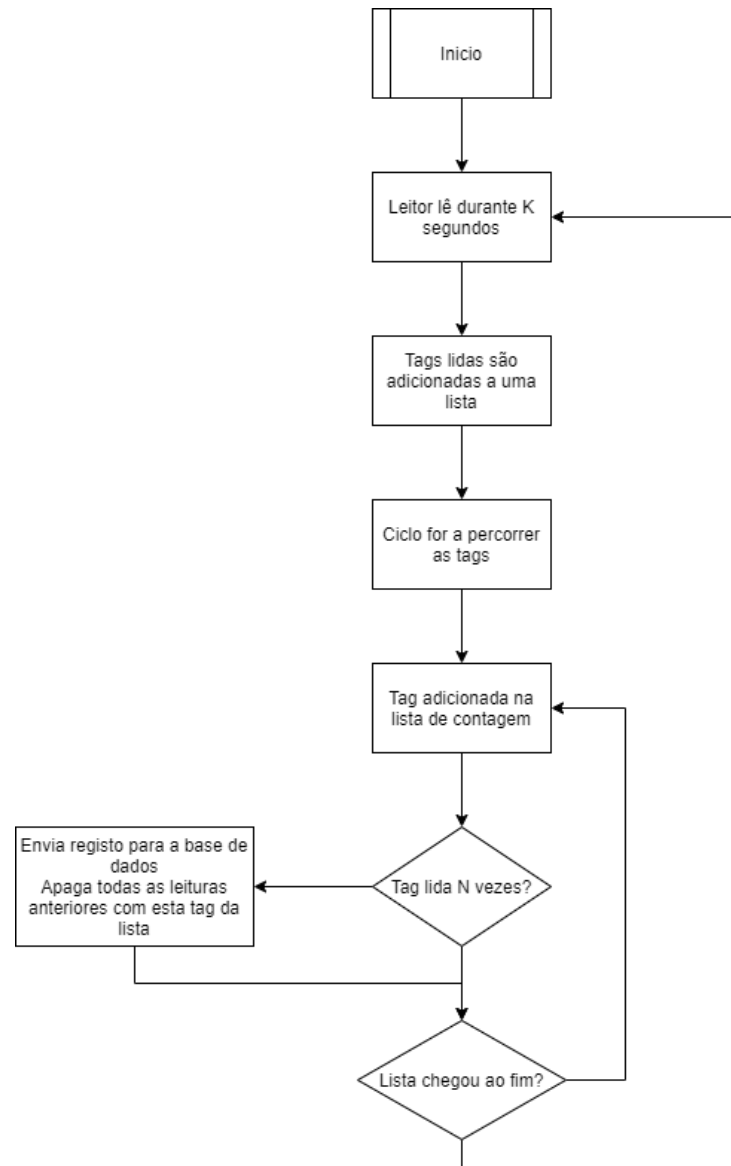


Figura 4.39 – Fluxograma de funcionamento do sistema Zebra


O formato do registo consiste em:

- ID Antena lida;
- ID Tag lida;
- Hora da primeira vez que a *tag* foi lida.

Para que o envio dos registos pudesse ser feito, teve de ser criada uma função que permitisse adquirir o Token (funciona como “palavra-chave”), de forma a ser possível a comunicação entre a base de dados e o sistema Zebra. Este Token tem um “prazo de validade” e sempre que faltam 2 ou menos dias para que expire, este Token é renovado, fazendo um novo pedido à base de dados.

4.3.3. Tags InLine Ultra Mini

Para permitir o rastreamento das peças no chão de fábrica, foi necessário selecionar *tags* que se adequassem aos requisitos e às condições do ambiente industrial de uma fábrica de produção de moldes. Por esse motivo era fundamental a escolha de *tags* anti-metais, capazes de minimizar os impactos negativos da presença em grande número de superfícies metálicas. As principais características técnicas da *tags* escolhidas estão descritas na Figura 4.40.



Frequência de operação: 865-956 MHz
Chip: Monza R6
Memoria: 96 bit EPC + 48 bit TID
Alcance de leitura: 3 metros
Superfícies adequadas: Todas, incluindo metal, plástico e madeira
Resistencia: IP68, IP69K, 80° C, 100 bar
Temperatura de operação: -40° a +85° C
Standard: UHF EPC Class 1 Gen 2, ISO 18000-6C, ISO 17364, DIN 40050-9
Dimensão: 60 × 18 × 8 mm

Figura 4.40 - Especificações das TAGs InLine Ultra Mini²⁴

As tags selecionadas têm algumas características importantes para o correto funcionamento do sistema. Em primeiro lugar funcionam dentro da frequência europeia. Outro ponto importante é sua resistência, pois sendo do tipo IP69 e IP69K, são altamente resistentes a água e poeira, algo bastante comum no cenário onde o sistema foi implementado. Acrescenta-se que, como já referido anteriormente, a *tag* tem de ser específica para metal, visto que as peças que compõem o molde são feitas de aço. Por fim, sendo o seu alcance relativamente curto (face a outras *tags* da mesma categoria) permite ao sistema um funcionamento mais eficiente com o sistema de proximidade, minimizando as leituras erradas devido à reflexão do sinal.

Por forma a tornar o processo de inserção/remoção das *tags* nas peças a seguir mais rápido e prático, foram ainda colocados pequenos imanes na base de cada *tag* para que fosse possível inserir e remover as mesmas durante o processo de fresagem, evitando danos nas mesmas.

4.3.4. Software de registo, filtragem e tracking

O software BQD foi criado com o objetivo de filtrar os dados enviados pelos sistemas Zebra e ESP32 e para criar e alterar a informação contida nas *tags*.

Para a realização do software utilizou-se a ferramenta Windows Forms do Visual Studio 2019²⁵, com base na linguagem de programação C#. Foi necessário criarem-se os *mockups* do software e o modelo Entidade-Relacionamento.

²⁴<https://www.cisper.nl/public/data/image/article/722/3138/large/hid-inline-tag-ultra-mini-screwable-flat-monzar6-860-960-mhz-gray-no-logo.jpg?v=533e655ef4eccc7201dc5207abc49248>

²⁵ <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/vs/older-downloads/>

Layout do software

Inicialmente criou-se um *mockup* para estabelecer o *layout* do *software*. Um *mockup* representa em escala a parte gráfica de um projeto. O objetivo é permitir demonstrar um resultado próximo do aspeto final do produto, facilitando a visualização do aspeto final do *software*.

Após a criação do *mockup*, desenvolveu-se o *software* para conter 3 páginas diferentes: uma que permitisse adicionar/alterar informação de uma *tag* (Figura 4.41); outra para aceder ao *tracking* de uma peça (Figura 4.42); a terceira para ver os registos filtrados (Figura 4.43).

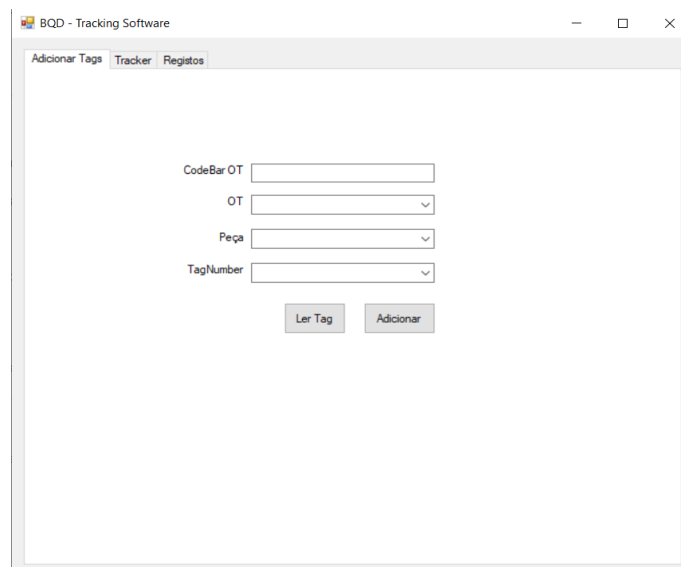


Figura 4.41 - Mockup do menu de tags



Figura 4.42 - Mockup do menu de tracking

IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn
54	20	20	19/10/2021 18:07	19/10/2021 18:20
54	21	21	19/10/2021 18:20	19/10/2021 18:20
54	20	20	19/10/2021 18:20	19/10/2021 18:21
54	21	21	19/10/2021 18:21	19/10/2021 18:21
54	20	20	19/10/2021 18:21	19/10/2021 18:22
54	21	21	19/10/2021 18:22	19/10/2021 18:23
54	20	20	19/10/2021 18:24	19/10/2021 18:26
54	21	21	19/10/2021 18:26	19/10/2021 18:29
54	20	20	19/10/2021 18:29	20/10/2021 11:06
54	2	1	20/10/2021 11:06	20/10/2021 11:07
54	12	12	20/10/2021 11:07	20/10/2021 11:08
54	20	20	20/10/2021 11:09	20/10/2021 11:09
54	12	12	20/10/2021 11:16	20/10/2021 12:51
54	1	2	20/10/2021 12:51	20/10/2021 12:53
54	3	4	20/10/2021 12:52	20/10/2021 12:52
54	1	2	20/10/2021 12:53	20/10/2021 13:03
54	4	3	20/10/2021 16:59	20/10/2021 16:59
54	21	21	20/10/2021 17:00	21/10/2021 11:28
54	2	1	21/10/2021 11:28	21/10/2021 11:28
54	12	12	21/10/2021 12:31	21/10/2021 17:11

Figura 4.43 - Mockup do menu de registos

Funcionamento da função de filtragem

A função de filtragem, como diz o nome, tem como objetivo filtrar os dados recebidos dos sistemas de aquisição. O objetivo é que os dados em bruto sejam tratados para que haja o mínimo de dados utilizados, não só para evitar a subcarga da base de dados como para melhorar a eficiência dos dados. Esta função agrupa todos os registos realizados por uma antena com uma determinada *tag* e extrai os valores que interessam, neste caso o início e o fim do processo registado por essa antena. Todo o funcionamento pode ser observado a partir do fluxograma da Figura 4.44.

A função de filtragem tem como finalidade filtrar os dados recebidos dos sistemas de aquisição. O objetivo é que os dados recebidos em bruto sejam tratados e agrupados, por forma a que haja um número mínimo de dados essenciais armazenados. Não só para evita a sobrecarga da base de dados como permite uma melhor a eficiência na consulta e interpretação dos mesmos. Esta função agrupa todos os registos realizados por uma antena com uma determinada *tag* e extrai os valores que interessam: o início e o fim do processo registado por essa antena. Todo o funcionamento pode ser observado a partir do fluxograma da Figura 4.44.

Quando uma *tag* é lida por uma antena, gera um registo. O registo entra na função de filtragem e é verificado se a antena que o realizou é correspondente a uma máquina ou a um pórtilo. Se o registo inicial for de uma máquina, vai verificar se existem registos anteriores. Se não existirem, é adicionado um registo na tabela *U_BQDRecords* e é aberto o registo na *U_BQDRecordsFilter*. Caso existam registos, terá de se verificar se o registo anterior era de uma máquina ou de um pórtilo. Se era de uma máquina, é adicionado um registo com a leitura atual na tabela *U_BQDRecords* e um registo na *U_BQDRecordsFilter*, fechando o registo anterior na *U_BQDRecordsFilter*. Depois, são copiados os registos anteriores da *U_BQDRecords* para a *U_BQDRecordsHist*, eliminando-se os mesmos da *U_BQDRecords*.

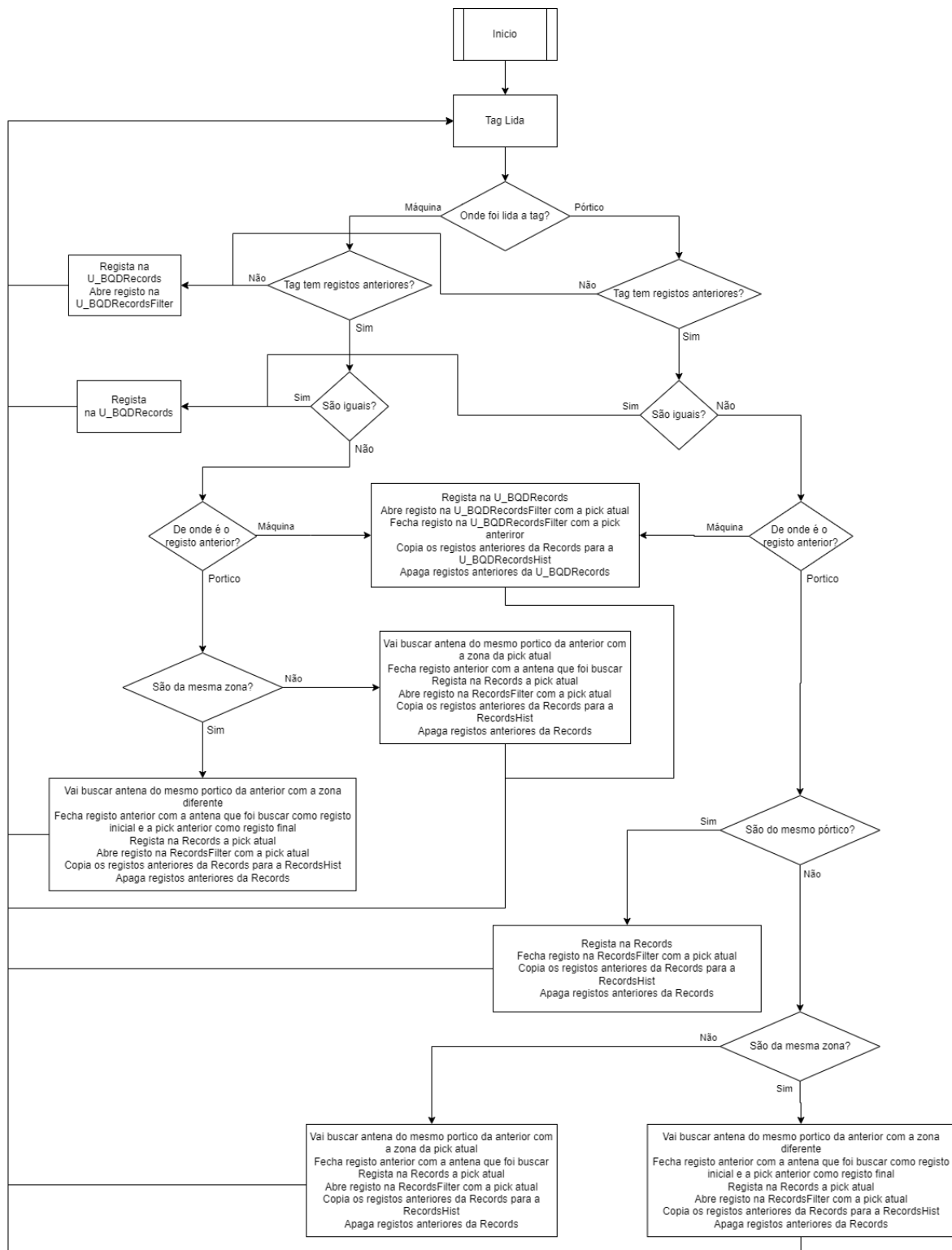


Figura 4.44 - Fluxograma do sistema de filtragem

Por outro lado, se o registo anterior for de um pórtico, terá de se verificar se a zona anterior é igual à zona da máquina que fez o registo atual. Se forem da mesma zona, a função vai buscar um ponto de registo da antena com o mesmo pórtico da antena do registo anterior

com uma zona diferente da mesma. Essa antena passará a ser a antena que abre o registo e a antena do registo anterior será a antena que fechará o registo, corrigindo assim o erro.

Para além disso é adicionado um registo com a picagem atual na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, os registos anteriores deverão ser copiados `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`. Por outro lado, caso a zona seja diferente, a função vai buscar uma antena com o mesmo pórtilco da antena do registo anterior com uma zona igual à da máquina do registo atual. Essa antena será a antena que fechará o registo anterior na `U_BQDRecordsFilter`, corrigindo assim o erro. Para além disso é adicionado um registo com a picagem atual na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, os registos anteriores deverão ser copiados `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`.

Caso contrário, se o registo inicial for de um pórtilco, vai verificar se existem registos anteriores. Se não existirem, verifica se existe um registo fechado na `U_BQDRecordsFilter` com a mesma antena. Se não existir, é adicionado um registo na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, caso contrário, nada é registado. Caso existam registos, terá de se verificar se era máquina ou pórtilco. Se for máquina, é adicionado um registo com a leitura atual na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, o registo anterior deverá ser fechado na `U_BQDRecordsFilter`, e deverão ser copiados os registos anteriores da `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`. Por outro lado, se o registo anterior for pórtilco, verifica-se se o pórtilco é o mesmo. Caso seja o mesmo pórtilco, o registo anterior deverá ser fechado na `U_BQDRecordsFilter`, e deverão ser copiados os registos anteriores da `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`. Se não for do mesmo pórtilco, terá de se verificar se a zona é igual à zona da máquina que fez o registo atual. Se for da mesma zona, a função vai buscar uma antena com o mesmo pórtilco da antena do registo anterior com uma zona diferente da mesma. Essa antena passará a ser a antena que abre o registo e a antena do registo anterior será a antena que fechará o registo, corrigindo assim o erro. Para além disso é adicionado um registo com a leitura atual na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, os registos anteriores deverão ser copiados `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`. Por outro lado, caso a zona seja diferente, a função vai buscar uma antena com o mesmo pórtilco da antena do registo anterior com uma zona igual à da máquina do registo atual. Essa antena será a antena que fechará o registo anterior na `U_BQDRecordsFilter`, corrigindo assim o erro. Para além disso é adicionado um registo com a leitura atual na tabela `U_BQDRecords` e é aberto o registo na `U_BQDRecordsFilter`, os registos anteriores deverão ser copiados `U_BQDRecords` para a `U_BQDRecordsHist`, eliminando-se os mesmos da `U_BQDRecords`.

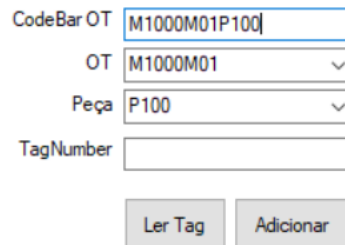
Função adicionar/alterar informação da *tag*

Esta função permite que o utilizador associe uma OT e uma peça a uma *tag* específica. Quando essas informações são adicionadas, a *tag* torna-se ativa, podendo ser assim tratada

como um registo relevante para a função de filtragem. Caso não esteja ativa, a *tag* deve ser descartada.

O objetivo desta função será escrever ou alterar a informação das OT ao longo do processo produtivo da peça, para que seja mais fácil validar os dados que entram no sistema a partir das máquinas.

A implementação de um leitor de código de barras permitirá ao sistema receber a informação referente à peça e preencherá automaticamente os campos da OT e da peça (Figura 4.45).



O formulário contém os seguintes campos e botões:

- CodeBar OT: Campo de texto com o valor "M1000M01P100".
- OT: Combobox com o valor "M1000M01".
- Peça: Combobox com o valor "P100".
- TagNumber: Campo de texto vazio.
- Botões: "Ler Tag" e "Adicionar".

Figura 4.45 - Registo de uma *tag*

Para além disso, quando a *tag* for lida por um leitor, a informação fornecida a esta função permitirá saber se a *tag* lida se encontra ativa e qual a informação que esta contém. Isto é importante para que o utilizador saiba se a *tag* é a correta e permite também ler a informação de alguma *tag* que possa estar perdida (Figura 4.46).

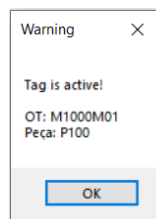


Figura 4.46 - Informação de leitura de *tags* ativas

Função de tracking

Esta função permite ao utilizador saber em tempo real a localização de uma determinada peça. Ao aceder à combobox (caixa com a lista de *tags*), é possível selecionar qualquer *tag* ativa que tenha sido detetada pelo sistema, conforme ilustrado na Figura 4.47.

Após ter sido selecionada uma *tag*, esta pode encontrar-se em 2 estados, em funcionamento numa máquina ou parada numa zona, como se pode observar pela Figura 4.48 e Figura 4.49, respetivamente.

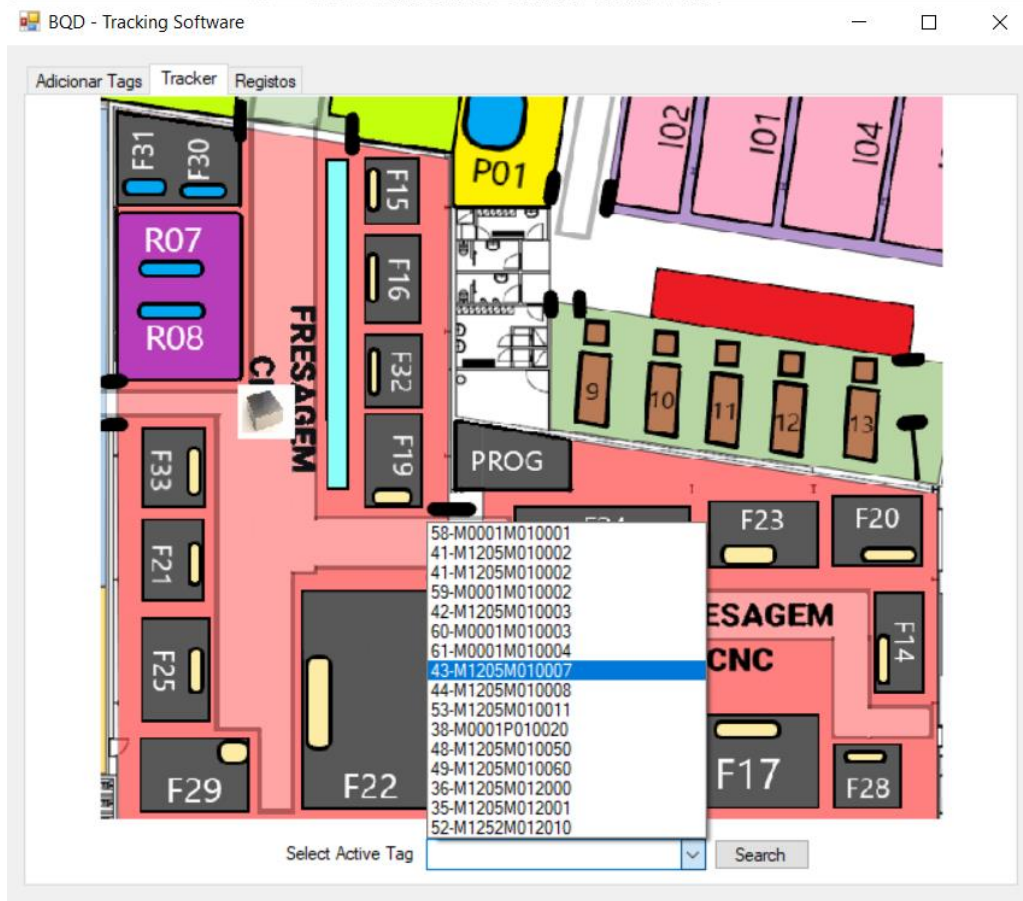


Figura 4.47 - Seleção de uma tag na função de tracking

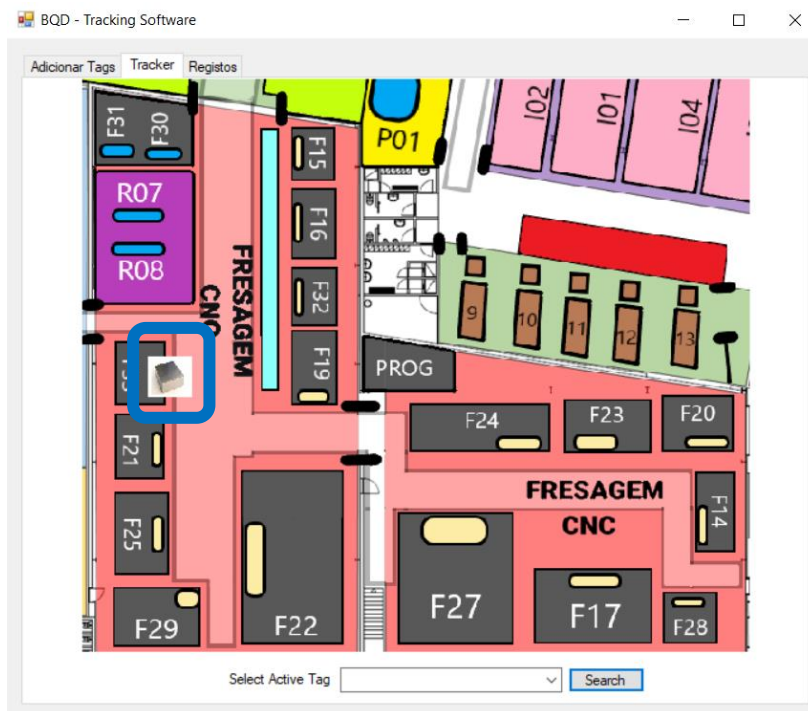


Figura 4.48 - Tag localizada na máquina F33

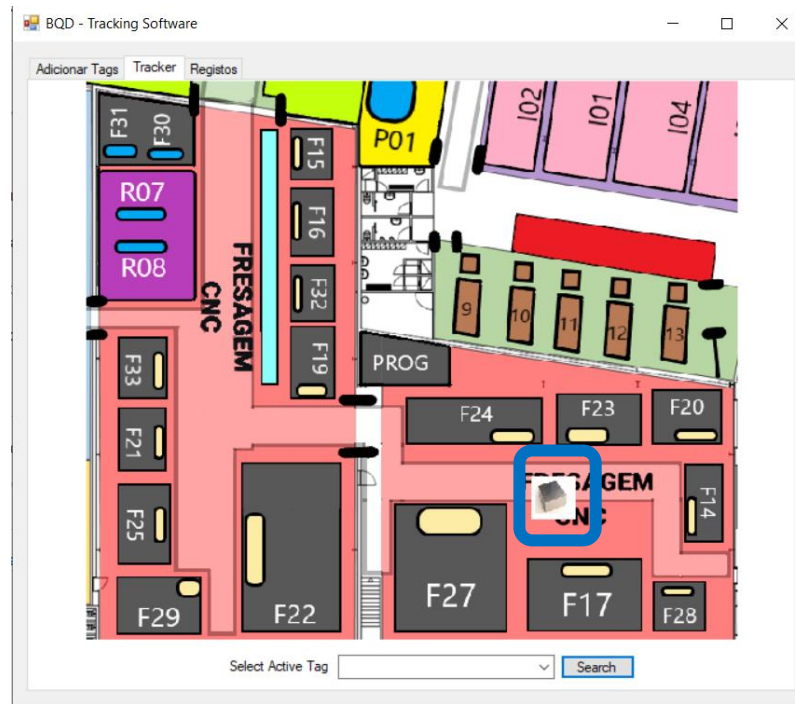


Figura 4.49 - Tag localizada na Zona 1

5. Testes em ambiente industrial

De forma a validar o sistema desenvolvido, tornou-se essencial implementar e testar os sistemas desenvolvidos e o sistema comercial adquirido em uma unidade industrial de produção de moldes. Para a realização dos testes provatórios, foi necessário criar um cenário que permitisse a sua realização de forma controlada, mas ao mesmo tempo onde fosse possível recolher informação válida e útil para o melhor funcionamento da linha de produção. Como tal, em primeiro lugar foi necessário selecionar-se a zona da fábrica onde fosse ideal a monitorização da *tags*. Após análise cuidada e um estudo feito ao nível do chão de fábrica, decidiu-se que a zona de fresagem seria a zona mais indicada a implementar o sistema experimental.

Devido à quantidade reduzida de módulos, leitores e antenas disponíveis para os testes experimentais, foi necessário gerir e escolher os equipamentos industriais (doravante referidos como máquinas) que teriam melhor aproveitamento do sistema. Na zona 1 foi escolhida a máquina F23 e na zona 2 foram escolhidas as máquinas F16, F32 e F33.

Para além disso, como já anteriormente referido, foram construídos 2 pórticos para monitorizar o processo de transição entre zonas, ficando situados entre diferentes zonas da área de fresagem e entre a área de fresagem e de erosão. A zona de fresagem é delimitada por duas subzonas, a zona de fresagem CNC 1 e a zona de fresagem CNC 2. O pórtico que contém o sistema ASL (*slave*) é responsável por delimitar o ponto de transição entre a zona de erosão e a zona de fresagem CNC 2 ao passo que o pórtico com o sistema Zebra, define o ponto de transição entre a zona de fresagem CNC 2 e a zona de fresagem CNC 1.

Todo o cenário pode ser visto a partir da Figura 5.1, assim como na implementação prática documentada nas Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5.

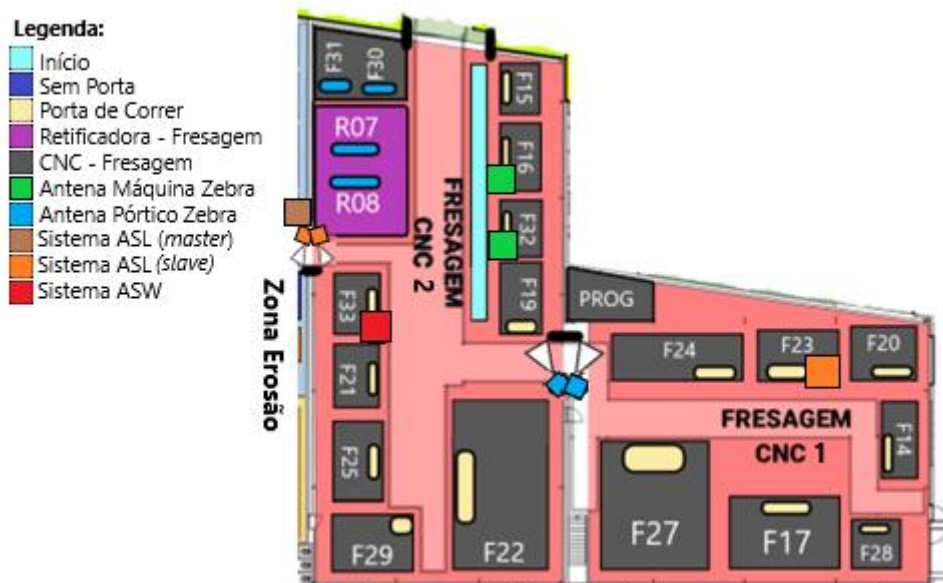


Figura 5.1 - Cenário de montagem das antenas e/ou leitores junto das máquinas e pórticos



Figura 5.2 - Antenas Zebra junto das máquinas F16 e F32



Figura 5.3 - Leitores com o sistema ASL e ASW nas máquinas F33 e F23



Figura 5.4 - Antenas de pórtico do sistema Zebra e ASL

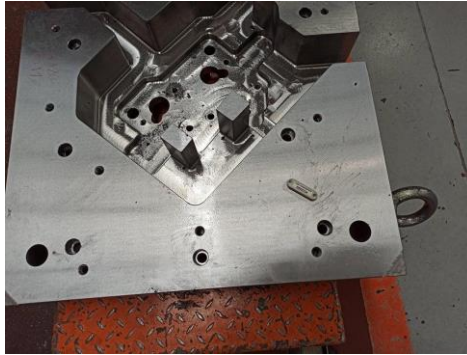


Figura 5.5 -Tag inserida num componente de um molde

De modo a ser possível ter um estudo comparativo entre módulos *low-cost* versus *high-cost*, analisando as principais vantagens e limitações de cada um dos sistemas, foi decidido a criação de um pórtico com leitores CHAFON em conjunto com o sistema ASW/ASL e outro pórtico com o sistema Zebra. De igual forma foram utilizadas duas máquinas com o sistema Zebra e duas máquinas com o sistema ASW/ASL. No pórtico foi utilizado o sistema ASL e nos restantes pontos, foram utilizados sistemas ASL (máquina F23) e ASW (máquina F32). Para além disso, foi colocado um sistema ASL *master* fora da zona de fresagem para que permitisse receber os dados de todos os outros módulos.

Foi feita uma seleção de peças que teriam uma maior incidência nas máquinas monitorizadas, por forma a conseguir-se o maior número de registos possíveis. Com a inserção (e remoção) das *tags* nas peças selecionadas (feitas pelos operadores), analisaram-se os resultados após a realização de 2 testes.

Também se teve de ter uma atenção especial com a interferência das luzes fluorescentes nos sistemas RFID (fazem interferência na leitura das *tags*), tendo de ajustar ou até mesmo de remover as luzes fluorescentes que se encontravam perto dos leitores/antenas [17].

5.1. Primeiro teste experimental

Para a realização dos testes foi necessário atribuir os “ID Antena” aos sistemas aplicados nos pórticos e nas máquinas para que fosse possível identificar-se o percurso das *tags* (Tabela 5.1). Os IDs 1 e 2 correspondem aos 2 pontos de identificação do pórtico CNC1-CNC2, sendo que o ID 1 deteta as *tags* que se encontram na zona CNC1 e o ID 2 deteta as *tags* que se encontram na zona CNC2. Os IDs 3 e 4 correspondem aos pontos de identificação do pórtico Erosão-CNC2, sendo que o ID 3 lê as *tags* da zona CNC2 e o ID 4 identifica as *tags* da zona da erosão. A informação encontra-se resumida na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Tabela descritiva de zonas de identificação

ID Antena	Descrição da Antena	Tipo de sistema
1	Pórtico CNC1-CNC2 (Lado CNC1)	Zebra
2	Pórtico CNC1-CNC2 (Lado CNC2)	Zebra
3	Pórtico Erosão-CNC2 (Lado CNC2)	ASL
4	Pórtico Erosão-CNC2 (Lado Erosão)	ASL
12	Máquina F23	ASL
18	Máquina F33	ASW
20	Máquina F16	Zebra
21	Máquina F32	Zebra

O primeiro teste teve incidência em 4 peças à qual se associaram 4 *tags*, catalogadas de A a D, com os “IDTag” 54, 55, 56 e 57, respetivamente. Nas figuras seguintes encontram-se registados os percursos reais das 4 peças “etiquetadas”, com base nas informações registadas pelos operadores durante a maquinação das peças e os resultados obtidos com as leituras do sistema para cada uma das *tags*. Para além disso são apontadas as NCs (não conformidade). Uma NC é uma discrepância entre um resultado observado e um requisito especificado ou esperado. Em outras palavras, quando algo não está em conformidade com um padrão, especificação, procedimento ou regulamento estabelecido. Neste caso, as NCs registadas a vermelho são pequenas erros de leitura ou reflexões, falhas do sistema ou erro por parte dos operadores.

➤ TAG A

Comparando o percurso real com o registado pelo sistema, na tag A existiram algumas falhas nos registos. De acordo com a Figura 5.6, pode-se verificar que existem registos em simultâneo em duas antenas diferentes (para IDRecords de 379 a 385) devido a uma falha na configuração do sistema Zebra relativo a um atraso no acesso aos dados.



IDRecords	IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
375	54	20	20	2021-10-19 18:07:34.000	2021-10-19 18:20:35.000	
379	54	21	21	2021-10-19 18:20:42.000	2021-10-19 18:20:42.000	
380	54	20	20	2021-10-19 18:20:48.000	2021-10-19 18:21:35.000	
381	54	21	21	2021-10-19 18:21:47.000	2021-10-19 18:21:47.000	
382	54	20	20	2021-10-19 18:21:53.000	2021-10-19 18:22:37.000	
383	54	21	21	2021-10-19 18:22:44.000	2021-10-19 18:23:54.000	
384	54	20	20	2021-10-19 18:24:00.000	2021-10-19 18:26:52.000	
385	54	21	21	2021-10-19 18:26:59.000	2021-10-19 18:29:35.000	
386	54	20	20	2021-10-19 18:29:41.000	2021-10-20 11:06:09.000	
453	54	2	1	2021-10-20 11:06:51.000	2021-10-20 11:07:05.000	
454	54	12	12	2021-10-20 11:07:45.000	2021-10-20 11:08:40.000	
456	54	20	20	2021-10-20 11:09:08.000	2021-10-20 11:09:23.000	
458	54	12	12	2021-10-20 11:16:57.000	2021-10-20 12:51:05.000	
459	54	1	2	2021-10-20 12:51:27.000	2021-10-20 12:53:02.000	
461	54	3	4	2021-10-20 12:52:12.000	2021-10-20 12:52:18.000	
462	54	1	2	2021-10-20 12:53:23.000	2021-10-20 13:03:43.000	
468	54	4	3	2021-10-20 16:59:54.000	2021-10-20 16:59:54.000	
469	54	21	21	2021-10-20 17:00:17.000	2021-10-21 11:28:02.000	
478	54	2	1	2021-10-21 11:28:22.000	2021-10-21 11:28:22.000	
481	54	12	12	2021-10-21 12:31:46.000	2021-10-21 17:11:58.000	
490	54	21	21	2021-10-21 17:14:56.000	2021-10-22 09:21:01.000	
498	54	3	4	2021-10-22 09:21:53.000	2021-10-22 09:22:00.000	

Figura 5.6 - Percurso real e registado pelo sistema para a tag A no 1º teste

Mais tarde, pode-se verificar que apenas é feito o registo num dos lados do pórtico (ponto de leitura com o IDAntennaIn 2 para IDAntennaOut 1), provavelmente devido a uma má orientação das *tags* relativamente às antenas faltando o registo do outro lado do pórtico (IDAntennaIn 1 para IDAntennaOut 2), e verificaram-se algumas reflexões do sinal, acabando por existirem registos em 2 antenas distintas com a mesma *tag*.

➤ TAG B

Na TAG B praticamente todos os registos estavam corretos, porém existiram algumas falhas relativamente a registos nos pórticos como se pode verificar na Figura 5.7 entre o registo 377 e 460 (IDAntennaIn 3 para IDAntennaOut 4).



IDRecords	IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
377	55	21	21	2021-10-19 18:14:27.000	2021-10-20 11:10:21.000	
460	55	12	12	2021-10-20 12:53:08.000	2021-10-20 16:45:24.000	
473	55	18	18	2021-10-20 17:03:57.000	2021-10-21 12:33:12.000	
482	55	4	3	2021-10-21 12:33:33.000	2021-10-21 15:11:06.000	
487	55	18	18	2021-10-21 17:10:47.000	2021-10-22 09:19:21.000	
495	55	3	4	2021-10-22 09:19:31.000	2021-10-22 09:19:35.000	

Figura 5.7 – Percurso real e registado pelo sistema para a *tag* B no 1º teste

➤ TAG C

Na TAG C existiram pequenas incoerências, mas o resultado obtido pelo sistema de leitura foi bastante satisfatório. Inicialmente existiu uma troca de *tags* por parte dos operadores, resultado num registo de dados errado, apenas existindo registo da *tag* durante cerca de 2 horas como se pode ver no registo 378 da Figura 5.8.



IDRecords	IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
378	56	18	18	2021-10-19 18:16:31.000	2021-10-19 20:54:07.000	
388	56	12	12	2021-10-20 09:59:18.000	2021-10-20 11:08:46.000	
455	56	1	2	2021-10-20 11:09:06.000	2021-10-20 11:09:21.000	
472	56	1	2	2021-10-20 17:03:37.000	2021-10-20 17:03:37.000	
474	56	3	4	2021-10-20 17:05:28.000	2021-10-20 17:05:39.000	
476	56	4	3	2021-10-21 09:09:11.000	2021-10-21 09:09:11.000	
477	56	20	20	2021-10-21 09:13:50.000	2021-10-21 15:11:49.000	
483	56	2	1	2021-10-21 15:11:55.000	2021-10-21 15:12:09.000	
488	56	12	12	2021-10-21 17:11:50.000	2021-10-21 18:40:54.000	
496	56	1	2	2021-10-22 09:20:44.000	2021-10-22 09:20:52.000	
499	56	3	4	2021-10-22 09:22:21.000	2021-10-22 09:22:27.000	

Figura 5.8 – Percurso real e registado pelo sistema para a *tag* C no 1º teste

Após ter sido corrigido o problema, apenas existiram pequenos erros relacionados com uma duplicação dos dados num registo do pórtico no registo 455 e 472, devido a um registo atrasado ou algum tipo de reflexão.

➤ TAG D

Na TAG D existiu uma situação similar à *tag C*, tendo ocorrido uma troca de *tags* por parte dos operadores, resultando num registo errado, sendo feita uma leitura da *tag* no ponto de leitura errado inclusive, como se pode verificar no registo 376 da Figura 5.9. Nesta *tag* existiram mais incoerências do que nas leituras anteriores, possivelmente provocadas por reflexões (nos registos entre 491 e 494), existiu duplicação de dados nos pórticos (registo 470) e atrasos nos registos do sistema Zebra (nos registos 389 a 451).



IDRecords	IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
376	57	12	12	2021-10-19 18:08:04.000	2021-10-20 09:51:51.000	
387	57	18	18	2021-10-20 09:52:47.000	2021-10-20 10:33:12.000	
389	57	1	2	2021-10-20 10:33:32.000	2021-10-20 10:33:32.000	
390	57	18	18	2021-10-20 10:34:13.000	2021-10-20 10:34:13.000	
449	57	1	2	2021-10-20 10:52:47.000	2021-10-20 10:52:47.000	
450	57	18	18	2021-10-20 10:52:47.000	2021-10-20 10:52:53.000	
451	57	1	2	2021-10-20 10:52:55.000	2021-10-20 10:52:55.000	
452	57	18	18	2021-10-20 10:52:59.000	2021-10-20 12:57:23.000	
463	57	20	20	2021-10-20 12:57:35.000	2021-10-20 17:02:39.000	
470	57	2	1	2021-10-20 17:02:44.000	2021-10-20 17:02:52.000	
471	57	20	20	2021-10-20 17:03:01.000	2021-10-20 17:03:13.000	
475	57	12	12	2021-10-20 17:09:26.000	2021-10-21 11:30:51.000	
479	57	1	2	2021-10-21 11:31:20.000	2021-10-21 11:31:38.000	
480	57	21	21	2021-10-21 11:33:22.000	2021-10-21 17:14:21.000	
489	57	20	20	2021-10-21 17:14:33.000	2021-10-21 17:14:50.000	
491	57	21	21	2021-10-21 17:14:56.000	2021-10-21 17:15:18.000	
492	57	20	20	2021-10-21 17:15:28.000	2021-10-21 17:15:28.000	
493	57	21	21	2021-10-21 17:15:35.000	2021-10-21 17:15:42.000	
494	57	20	20	2021-10-21 17:15:51.000	2021-10-22 09:21:01.000	
497	57	3	4	2021-10-22 09:21:22.000	2021-10-22 09:21:28.000	

Figura 5.9 - Percurso registado pelo sistema para a *tag D* no 1º teste

Numa análise global pôde-se concluir que os resultados foram bastante satisfatórios, tendo sido confirmado os problemas relativamente às reflexões de sinal que já eram espectáveis. De forma a combater esse problema, foram feitos ajustes no código da API de filtragem e no código dos sistemas Zebra e ASW/ASL, bem como pequenos ajustes nas antenas e leitores.

5.2. Segundo teste experimental

Após concluídas as correções anteriormente referidas foi realizado um segundo teste experimental ao sistema implementado. Neste segundo teste foi decidido utilizar o mesmo cenário e o mesmo número de *tags*, por forma a comparar e analisar os resultados obtidos e verificar se as correções tinham sido bem-sucedidas.

À semelhança do primeiro teste, nas Figura 5.10, Figura 5.11, Figura 5.12 e Figura 5.13 encontram-se registados os percursos reais das 4 peças catalogadas de A a D, com os “IDTag” 58, 59, 60 e 61, respetivamente.

À semelhança do primeiro teste, nas figuras seguintes são apresentadas as informações registadas pelos operadores durante a maquinação das peças e os resultados obtidos com as leituras do sistema para cada uma das *tags*.

➤ TAG A

Na TAG A apenas existiram pequenas falhas na API, visto que não foi registada um dos processos na passagem no pórtico na tabela de registos, mas foi registado pelo sistema, como se pode ver no registo 958 da Figura 5.10, e um dos registos do pórtico também ficou em falta (antes do registo 983 deveria aparecer um registo do IDAntennaIn 3 para IDAntennaOut 4), contudo teve resultados bastante satisfatórios.

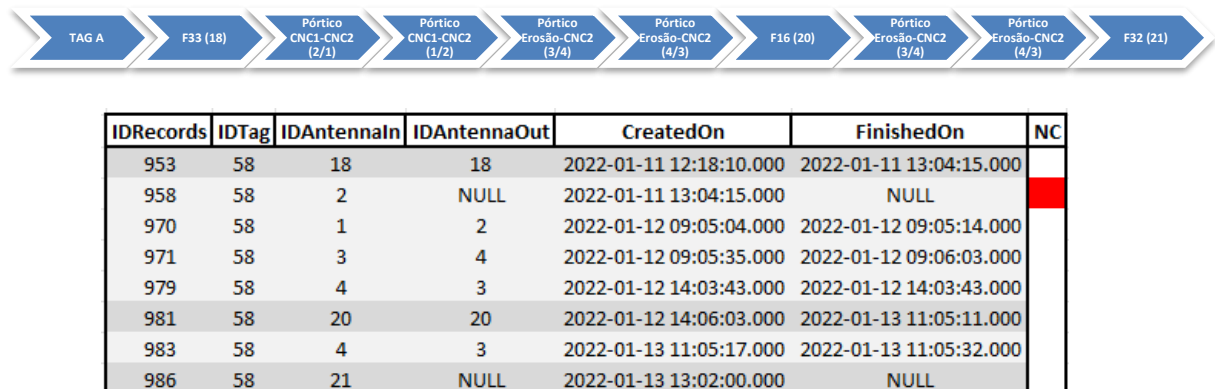


Figura 5.10 - Percurso registado pelo sistema para a tag A no 2º teste

➤ TAG B

Na TAG B praticamente todos os registos estavam corretos, porém houve um registo errado numa máquina (devido possivelmente a uma reflexão) no registo 977 da Figura 5.11. Para além disso, existiu apenas uma falha no registo de uma passagem num pórtico no registo 974. O último registo aparece a “NULL” devido à peça ainda estar em maquinação quando se retiraram os dados de leitura.



IDRecords	IDTag	IDAntennaln	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
956	59	12	12	2022-01-11 12:19:46.000	2022-01-11 13:05:12.000	
959	59	1	2	2022-01-11 13:05:12.000	2022-01-11 13:05:25.000	
965	59	21	21	2022-01-11 14:05:54.000	2022-01-12 09:07:45.000	
973	59	2	1	2022-01-12 09:07:45.000	2022-01-12 09:08:00.000	
974	59	1	2	2022-01-12 09:59:45.000	2022-01-12 09:59:45.000	
977	59	21	21	2022-01-12 10:01:54.000	2022-01-12 11:04:03.000	
978	59	12	12	2022-01-12 11:04:18.000	2022-01-13 10:01:59.000	
982	59	1	2	2022-01-13 10:01:59.000	2022-01-13 10:02:17.000	
989	59	20	NULL	2022-01-13 16:02:56.000	NULL	

Figura 5.11 - Percurso registado pelo sistema para a tag B no 2º teste

➤ TAG C

Na TAG C existiram algumas incoerências, contudo obtiveram-se bons resultados. Existiram pequenos erros numa falha no registo de uma passagem no pórtico entre os registos 968 e 972 da Figura 5.12 (devia existir um registo IDAntennaIN 3 e IDAntennaOut 4). Existiu também uma duplicação dos dados num registo do pórtico no registo 988, devido a um registo atrasado ou algum tipo de reflexão.

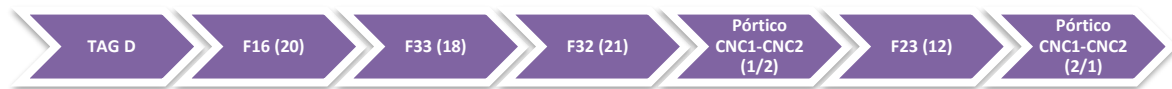


IDRecords	IDTag	IDAntennaln	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
955	60	21	21	2022-01-11 12:18:30.000	2022-01-11 16:07:05.000	
968	60	20	20	2022-01-11 16:07:16.000	2022-01-12 09:06:53.000	
972	60	4	3	2022-01-12 09:07:20.000	2022-01-12 09:59:23.000	
975	60	20	20	2022-01-12 09:59:49.000	2022-01-12 14:04:44.000	
980	60	18	18	2022-01-12 14:05:09.000	2022-01-13 11:06:14.000	
984	60	3	4	2022-01-13 11:06:17.000	2022-01-13 11:06:37.000	
988	60	3	NULL	2022-01-13 16:01:20.000	NULL	

Figura 5.12 - Percurso registado pelo sistema para a tag C no 2º teste

➤ TAG D

Na TAG D praticamente tudo decorreu como previsto, exceto um registo errado num pórtico com o IDRecords 969 da Figura 5.13, provavelmente devido a uma reflexão do sinal.



IDRecords	IDTag	IDAntennaIn	IDAntennaOut	CreatedOn	FinishedOn	NC
957	61	20	20	2022-01-11 12:20:56.000	2022-01-11 15:26:31.000	
967	61	18	18	2022-01-11 15:28:09.000	2022-01-11 19:12:02.000	
969	61	1	2	2022-01-11 19:12:02.000	2022-01-11 19:12:02.000	
976	61	21	21	2022-01-12 10:00:14.000	2022-01-13 11:08:12.000	
985	61	2	1	2022-01-13 11:08:12.000	2022-01-13 11:08:41.000	
987	61	12	12	2022-01-13 13:02:54.000	2022-01-17 08:53:13.000	
990	61	1	2	2022-01-17 08:53:13.000	2022-01-17 08:53:21.000	

Figura 5.13 - Percurso registrado pelo sistema para a tag A no 2º teste

5.3. Conclusões dos testes experimentais

Os testes experimentais realizados no sistema de monitorização desenvolvido para a unidade industrial de produção de moldes apresentaram resultados satisfatórios, indicando que o sistema foi bem-sucedido em sua implementação. Analisando comparativamente o funcionamento dos sistemas utilizados, concluiu-se:

- Ambos os sistemas, Zebra e ASW/ASL, demonstraram eficácia na identificação e rastreamento das etiquetas ao longo do processo de produção. As pequenas falhas registadas parecem estar mais relacionadas a ajustes técnicos e interferências do ambiente do que a falhas inerentes aos sistemas em si.
- Os sistemas parecem ter uma boa capacidade de lidar com interferências, embora tenham sido observadas algumas reflexões do sinal que levaram a erros ocasionais nos registos. No entanto, foram feitos ajustes no código da API e nos sistemas Zebra e ASW/ASL para mitigar esse problema.
- Os resultados dos testes proporcionaram uma base para uma análise comparativa entre os sistemas *low-cost* (ASL/ASW) e *high-cost* (Zebra). Ambos os sistemas mostraram capacidade de funcionamento, porém, algumas diferenças foram observadas nos registos de leitura e na resiliência às interferências. Os sistemas *high-cost*, representados pelo Zebra, parecem ter tido um desempenho ligeiramente superior, especialmente em termos de precisão e consistência nas leituras.
- A escolha estratégica das máquinas e dos pontos de monitorização dentro da zona de fresagem parece ter sido adequada, permitindo a captura de dados relevantes para o processo de produção de moldes. Além disso, a implementação de pórticos entre as zonas permitiu um controlo eficaz do fluxo de produção e transição entre as etapas.
- A capacidade de identificar e corrigir problemas durante os testes foi fundamental para o sucesso do experimento. Os ajustes realizados no código da API e nos sistemas demonstram uma abordagem pró-ativa para resolver questões técnicas e garantir o funcionamento adequado do sistema.

Com a realização dos testes, encontraram-se necessidades de aplicar melhorias na API e na interface do utilizador do sistema de monitorização. Estas melhorias são essenciais para facilitar a análise e interpretação dos dados recolhidos, proporcionando uma visão mais clara e detalhada do desempenho do sistema.

- **Interferências e Reflexões do Sinal:** Uma das principais falhas identificadas foi a ocorrência de reflexões do sinal RFID, que levaram a registos incorretos ou duplicados. Para melhorar esta questão, seria útil realizar uma análise mais aprofundada das fontes de interferência no ambiente da fábrica e implementar medidas para reduzir essas interferências. Além disso, poderiam ser investigados métodos de filtragem mais robustos nos sistemas de leitura para mitigar os efeitos das reflexões.
- **Configuração e Alinhamento das Antenas:** Algumas falhas foram atribuídas a uma má orientação das etiquetas em relação às antenas, resultando em registos incompletos ou ausentes. Uma melhoria seria investir num sistema de posicionamento mais preciso para garantir o alinhamento adequado das etiquetas com as antenas durante todo o processo de produção. Além disso, poderiam ser feitos ajustes na configuração das antenas para otimizar a cobertura e a eficiência das leituras.
- **Atrasos no Acesso aos Dados:** Em alguns casos, foram observados atrasos no acesso aos dados, especialmente no sistema Zebra. Isso pode ter impacto na precisão e consistência das leituras. Uma melhoria seria rever e otimizar o código da API e dos sistemas de leitura para reduzir esses atrasos e garantir uma comunicação mais rápida e eficiente entre os dispositivos.
- **Troca Incorreta de Etiquetas pelos Operadores:** Houve casos em que ocorreram trocas incorretas de etiquetas pelos operadores, resultando em registos errados ou incompletos. Para melhorar isso, poderiam ser implementados procedimentos de verificação mais rigorosos para garantir que as etiquetas sejam corretamente associadas às peças durante todo o processo de produção. Além disso, poderiam ser exploradas tecnologias de identificação mais robustas, como códigos de barras ou sistemas de visão computacional, para evitar erros humanos na identificação das peças.
- **Melhorias na API e na Interface do Utilizador:** Para facilitar a análise e interpretação dos dados recolhidos, seria útil implementar melhorias na API e na interface do utilizador. Isso pode incluir recursos adicionais de visualização, relatórios automatizados e alertas de anomalias para fornecer insights em tempo real sobre o desempenho do sistema e possíveis áreas de melhoria.

Ao abordar estas áreas de melhoria, seria possível aprimorar ainda mais o desempenho e a confiabilidade do sistema de monitorização, garantindo uma integração mais suave e eficiente na linha de produção de moldes.

Em resumo, os testes experimentais realizados forneceram uma visão abrangente do desempenho do sistema de monitorização desenvolvido. Embora tenham sido observadas pequenas falhas, os resultados gerais foram positivos, demonstrando a eficácia do sistema

na identificação e rastreamento de peças ao longo do processo de produção de moldes. A análise comparativa entre os sistemas *low-cost* e *high-cost* destacou algumas diferenças de desempenho, mas ambos os sistemas parecem ser viáveis, dependendo das necessidades e recursos disponíveis da unidade industrial.

6. Conclusões e trabalho futuro

O principal objetivo do presente projeto é a construção de um sistema de localização de objetos e produtos em ambientes industriais, com especial foco na indústria de moldes. Pretendeu-se projetar e dimensionar sistemas de localização próprios, testando-as e comparando-as com soluções existentes no mercado.

De forma a sistematizar toda a execução do projeto foram definidas quatro diferentes fases. Na primeira fase identificaram-se os objetivos, motivações e requisitos para a realização e implementação do projeto, estudaram-se as tecnologias possíveis para a sua implementação e técnicas e algoritmos de posicionamento mais comumente utilizadas em projetos similares.

Na segunda fase foi realizado um estudo do chão de fábrica, de forma a identificar e analisar importantes características do cenário de implementação do projeto tais como: o ciclo de produção de um molde, quantas peças e a respetiva dimensão que o constituem, em que zonas da unidade fabril são produzidas, qual o seu normal fluxo, qual a duração (em média) de cada processo, entre outros. Com este estudo aprofundado foi ainda possível identificar potenciais problemas de funcionamento do sistema de localização como por exemplo as reflexões “prejudiciais” dos sinais RF em objetos/paredes, a impossibilidade das *tags* poderem entrar numa máquina CNC, os diferentes métodos de transporte das peças. Todas estas informações entre muitas outras recolhidas permitiram criar e definir a melhor estratégia para a implementação do sistema a desenvolver.

A terceira fase, após a escolha da tecnologia a utilizar e do estudo detalhado do cenário de aplicação, foi dedicada à estruturação e implementação de todo o equipamento, construção e desenvolvimento do software e firmware necessário para o correto funcionamento do sistema proposto.

Na quarta e última fase foram montados e testados os dois sistemas (*low-cost* e *high-cost*) em ambiente industrial, tendo sido recolhidos dados importantes. Foram realizadas duas fases de testes tendo os resultados do primeiro servido de base para ajustes e pequenas alterações na configuração inicial para alcançar melhorias significativas nos resultados da segunda fase de testes.

Em modo de resumo final é da opinião do estudante que o objetivo principal foi cumprido, tendo ficado demonstrado ser possível construir um sistema de baixo com desempenho similar aos sistemas comerciais existentes (com custos muito mais elevados). Para além disso, o presente projeto permitiu ao estudante adquirir várias competências tais como:

- A aprendizagem muita aprofundada da tecnologia RFID, suas principais vantagens e limitações;
- A definição do fluxo e armazenamento dos dados essenciais para a criação de uma base de dados estruturada, de fácil acesso e de importância vital para a melhoria dos fluxos de produção dos moldes;

- A capacidade para construir, programar e implementar protótipos de baixo custo, configuráveis em diferentes modos (Wi-Fi, LoRa);
- A capacidade de estruturar, programar e implementar um sistema comercial (ex. Zebra);
- A capacidade para criação um software de registo e *tracking* de *tags* em tempo real, bem como de uma API de filtragem e organização dos dados recolhidos no chão de fábrica;
- A aprendizagem de metodologias de teste dos sistemas, bem como de análise de resultados, identificação de falhas e propostas de correção para melhoria do sistema.

Como resultado do estudo realizado nesta tese, foi publicado um artigo na revista Molde, intitulado “**SmartTrackingFab: sistema de monitorização e previsão de processos de fabricação de moldes**” [18]²⁶. Esta formulação destaca a relação direta entre a sua pesquisa de tese e a publicação do artigo, além de fornecer informações essenciais sobre a revista e o conteúdo do artigo.

6.1 – Trabalho futuro

Relativamente ao trabalho futuro, as principais sugestões são:

- Adição de um módulo *Ethernet* ao sistema ASW/ASL para evitar falhas de comunicação, tirando partido da capacidade já instalada na unidade fabril;
- Substituição de alguns componentes atualmente existentes nos módulos ASW/ASL, por forma a minimizar a sua dimensão e a aumentar a sua robustez;
- Substituição das lâmpadas fluorescentes por LED para minimizar as interferências no sinal RFID na receção dos leitores;
- Melhorias na API por forma a ser mais versátil e configurável para o utilizador de forma a ter diferentes perfis de calibração para determinadas zonas.

²⁶ https://issuu.com/cefamol/docs/revista_molde_139_digital

Referencias bibliográficas

- [1] C. R. Manica, “Aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 para auxiliar a rastreabilidade industrial na Manufatura de Cabos Elétricos”, *SCIENTIA CUM INDUSTRIA*, V. 9, N. 1, PP. 01—09, 2021. DOI:[10.18226/23185279.v9iss1p01](https://doi.org/10.18226/23185279.v9iss1p01)
- [2] Bougdira, A., Akharraz, I. & Ahaitouf, A. A traceability proposal for industry 4.0. *J Ambient Intell Human Comput* 11, 3355–3369 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01532-7>.
- [3] M.H Jansen-Vullers, C.A van Dorp, A.J.M Beulens, “Managing traceability information in manufacture” *International Journal of Information Management*, Volume 23, Issue 5, October 2003, Pages 395-413. [https://doi.org/10.1016/S0268-4012\(03\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0268-4012(03)00066-5)
- [4] Yumi, P., and L. Cheon-Pyo. "The Impact of RFID-based Traceability System on Perceived Competitive Advantage in the Food Industry." *Proceedings of the 2008 National Decision Sciences Institute (DSI) Conference*, Baltimore, MD. 2008.
- [5] J. H. a. G. Borriello, "Location Sensing Techniques A Survey and Taxonomy of Location". August 2001, *IEEE Computer Science, Engineering*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66.
- [6] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007, doi: 10.1109/TSMCC.2007.905750.
- [7] Sundar, S., Rajagopal Kumar, and Harish Mallikarjun Kittur. "Improved indoor location tracking system for mobile nodes." *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology* 12.1 (2020): 1-16.
- [8] G. Guo, R. Chen, F. Ye, X. Peng, Z. Liu and Y. Pan, "Indoor Smartphone Localization: A Hybrid WiFi RTT-RSS Ranging Approach," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 176767-176781, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2957753.
- [9] X. Li, "RSS-Based Location Estimation with Unknown Pathloss Model," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 12, pp. 3626-3633, December 2006, doi: 10.1109/TWC.2006.256985.
- [10] Yu, Xiao-min, Hui-qiang Wang, and Jin-qiu Wu. "A method of fingerprint indoor localization based on received signal strength difference by using compressive

- sensing." EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2020 (2020): 1-13.
- [11] Abdelrahman, Ramia Babiker Mohammed, Amin Babiker A. Mustafa, and Ashraf A. Osman. "A Comparison between IEEE 802.11 a, b, g, n and ac Standards." IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JEC) 17.5 (2015): 26-29.
- [12] Landt, Jeremy. "The history of RFID." IEEE potentials 24.4 (2005): 8-11.
- [13] Wikipedia, "RFID," [Online]. Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/RFID>.
- [14] Domdouzis, Konstantinos, Bimal Kumar, and Chimay Anumba. "Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction." Advanced Engineering Informatics 21.4 (2007): 350-355.
- [15] Machado, Aryoldo. Comando numérico aplicado às máquinas ferramenta. Icone, 1989.
- [16] Ho, K. H., and S. T. Newman. "State of the art electrical discharge machining (EDM)." International journal of machine tools and manufacture 43.13 (2003): 1287-1300.
- [17] Ibrahim, Ghassan, Jon Zeisler, and Mike Kutch. "Performance Analysis Of 915 Mhz Rfid System Operating In A Fluorescent Lighting Environment." 2008 Annual Conference & Exposition. 2008.
- [18] Alexandre Batista, Bernardo Figueiredo, Hugo Gomes e Lino Ferreira, "SmartTrackingFab: sistema de monitorização e previsão de processos de fabricação de moldes," *Molde*, vol. 139, pp. 80-85, 2023.

Anexos

Anexo A – Relatório de problemas e riscos

Relatório de problemas e riscos

A. Problemas Iniciais:

1. Que tipos de peças se pretendem monitorar?
 - a. Inicialmente as peças que se pretendem monitorizar serão as cavidades, as buchas e peças que tenham um tamanho minimamente considerável para que haja uma maior facilidade na implementação do sistema e das próprias tags.
2. Pretendem-se monitorizar os operários?
 - a. Não definido.
3. Quais são os dados relevantes a ser obtidos?
 - a. Numa fase inicial, os dados principais a obter são os tempos que cada molde passa por zona. De seguida, deverá ser obtido o tempo em que cada molde passa em cada máquina, de forma a obterem-se dados do tempo de produção mais precisos. Opcionalmente poderão ser obtidos dados como o consumo energético e a medição da temperatura de uma peça (?).
4. Quais as tecnologias a implementar?
 - a. O sistema a implementar será preferencialmente o sistema de tags RFID e os seus respetivos readers. Cada peça terá uma tag associada e recorrendo a readers com antenas que permitem a leitura da frequência radio da tag, irão identificar que cada peça está na zona X, na máquina Y e que esteve Z tempo nesse processo. Os sistemas de comunicação poderão ser variados, ainda terá de ser encontrado o melhor. Esses dados terão de ser enviados para um servidor que terá de tratar os dados e informar o sistema caso exista um problema, comparando com os dados obtidos diretamente das máquinas.

B. Problemas do Chão-de-fábrica:

1. Qual a função de cada zona da fábrica?

Existem diferentes zonas no chão de fábrica:

 - a. Zona de fresagem CNC: esta zona é onde se encontram as freses CNC principalmente. Esta zona é composta por outras duas subzonas com diversas máquinas com utilidade idêntica;
 - b. Zona de Erosão: Esta zona é onde se encontra a maquinação EDM, onde se realiza a erosão das peças. Esta zona é utilizada para realizar trabalhos que as CNC não são capazes de realizar, como o desbaste de certas zonas com ângulos demasiado grandes para uma frese conseguir perfurar sem o risco de se partir;
 - c. Zona dos Elérodos: Esta zona é composta por um Robot e uma CNC e tem como função construir os eléctrodos que serão utilizados pelas máquinas da zona de Erosão.
 - d. Zona das Bancadas: Esta zona é composta por várias subzonas e tem diversas funções, como a montagem do molde, construção do circuito elétrico e hidráulico, e ocasionalmente, o embalamento do molde final.

e. Zona de Injeção: Esta zona é composta por 4 máquinas de injeção. Aqui é realizado o processo de teste do molde, onde serão injetados N moldes durante X períodos de Y tempo (definido pelo comprador do molde, geralmente), de forma a verificar se as peças se encontram de acordo com o que cliente pretende.

2. Qual a função de cada máquina?

Existem diferentes tipos de máquinas. Na zona de Fresagem, as máquinas mais comuns são as CNC. Estas máquinas são responsáveis por a realização de furos com maior dimensão e do desbaste de maiores dimensões. Também na zona da fresagem, existem duas máquinas Retificadoras responsáveis pelo desbaste ou pequenos ajustes de peças que por exemplo são compradas com um tamanho standard, mas onde é necessário desbastar meio milímetro. Por outro lado, na zona de Erosão existem as EDM que como foi dito anteriormente, tem a função de não só realizar tarefas que as CNC não são capazes, como também dar textura a uma determinada peça. Por fim, as máquinas de injeção, tem como função testar o processo de injeção dos moldes. Cada máquina permite a utilização de um molde de um tamanho diferente e de um número de peças de plástico ejetadas diferente. Por fim, a Prensa serve para comprimir o molde e realizar os devidos ajustes com a ajuda de um produto chamado Zarcão (Pó vermelho com vestígios de óleo);

3. Qual o mecanismo de entrada e saída das peças em cada uma das máquinas? (Entram por uma porta, entram pela parte de cima sem porta, etc.);

O estudo deste ponto é importante para caracterizar a melhor maneira de detetar que uma peça se encontra numa determinada máquina. Existem diversos tipos de máquina, e dentro dos mesmos tipos, existem diversos fabricantes, daí ser de esperar que a estrutura das máquinas possa ser algo diferente entre elas.

- Relativamente às CNC, todas as máquinas são compostas por portas de correr lateralmente, à exceção das F31 e F30 que como são freses manuais, não tem contem uma estrutura em volta da frese.
- As Retificadoras, também não possuem qualquer tipo de estrutura envolvente, sendo colocadas as peças diretamente.
- À semelhança das anteriores, praticamente todas as EDM não tem qualquer estrutura, e as peças são colocadas de cima para baixo, à exceção da E14 (caso especial), E03 e da E05 que são estruturadas e tem uma porta de puxar.
- A Prensa tem um tapete onde se coloca o molde para se comprimir. Tanto a entrada como a saída são realizadas pelo tapete.
- Por fim, as máquinas de injeção, contem uma porta onde se consegue colocar e montar o molde.

4. Como se deslocam as peças dentro de cada zona e entre zonas? Como se comporta o circuito das pontes?

A forma de como as peças se deslocam depende diretamente do tamanho da peça. Tendo em conta que são peças de aço, quanto maior forem, mais provável será de serem transportadas pelas pontes, assim como que quanto mais pequenas, mais provável será de serem transportadas pelos carrinhos. Dentro de uma zona, a peça pode ser transportada sem problema com qualquer um dos sistemas, contudo, quando uma peça grande necessita de ser transportada entre zonas, estas são transportadas, por exemplo, da zona 1 através de uma ponte da zona 1 até ao pórtico de ligação com a zona 2. No pórtico existe um carrinho que serve para passar a peça da zona 1 para a zona 2, onde esta é colhida por uma ponte na zona 2 e transportada para uma máquina ou bancada dessa zona.

5. Caso a peça seja transportada por um carrinho, qual o número de peças que pode ser transportado de cada vez? (1, 2, 3, ... peças por carrinho);

Num carrinho pode ir um qualquer número de peças.

6. Qual o circuito utilizado pelos operadores?
O circuito utilizado pelos operadores é geralmente o que se encontra traçado no chão de fábrica.
7. Como deve ser feita a divisão da fábrica? (Zonas, pelo tipo de máquinas, tipo de trabalho realizado, etc.);
O chão de fábrica deve ser dividido em zonas para que haja uma melhor precisão relativamente onde se encontram as peças. Por exemplo, a fresagem é composta por 2 subzonas que deveriam ser divididas, a erosão e os elétrodos, encontram-se na mesma zona, também deveriam ser divididos, a zona da bancada engloba várias zonas, que também deveriam ser divididas. (A discutir).
8. Qual a altura a que uma peça pode passar em cada pórtico?
Dado que a peça pode entrar de formas diferentes nas zonas, cada caso deve ser estudado e encontrar-se um padrão.
9. Qual o melhor sistema de leitura a implementar em cada uma das máquinas?
Tendo em conta que cada máquina tem a sua estrutura, é de esperar que cada sistema de leitura tenha de ser adaptado a cada um dos tipos de máquinas existentes. Como já foi dito, as CNC têm quase todas a mesma estrutura (exceto a F30 e F31), apresentando uma porta de correr lateralmente. Isto significa que a peça vai ficar num container dentro da máquina quando se fecha a porta, o que não permite a leitura da peça diretamente, contudo é possível saber-se quando a peça foi colocada e retirada da máquina. Ao colocar-se uma antena na entrada, esta vai detetar a tag sempre que a peça entrar e/ou sair, calculando-se posteriormente o tempo que a peças esteve na máquina a partir da diferença entre o tempo de entrada e o tempo de saída da peça. Por outro lado, existem os casos das EDM onde praticamente todas tem uma estrutura se container e a peça é colocada de cima para baixo na máquina, à exceção da E03, E04 e da E14. Neste tipo de máquinas, o processo de leitura da tag da peça pode ser realizado continuamente se a antena for posicionada na máquina. Neste caso, o tempo de trabalho da máquina é contabilizado a partir do tempo em que a tag está a ser lida continuamente, em vez de se fazer o cálculo entre a entrada e saída da peça. As máquinas de injeção, são um caso em que qualquer um dos sistemas anteriores pode ser utilizado, visto que na zona onde se encontram existe um pequeno fluxo de peças e moldes, devendo-se assim adequar o sistema para aquele onde se verificarem melhores resultados. A prensa é um caso semelhante com o anterior, contudo o fluxo de peças e moldes nessa zona é muito maior, o que pode provocar interferências e leituras erráticas de peças que se encontrem nessa zona, mas que não estejam sujeitas à utilização da prensa. Assim será necessário testar e escolher o melhor sistema neste caso.
10. Qual o melhor sistema de leitura a implementar em cada um dos pórticos?
Os pórticos são uma zona extremamente importante visto que são os limites de cada uma das zonas. Estes estão sujeitos a um grande fluxo de peças e podem ter de ler mais do que um de cada vez. Para além disso, existem vários tipos de pórticos, uns fechados, outros em espaço aberto. Aqueles que são fechados, são mais fáceis de estudar a melhor maneira de implementar o sistema, porque sabe-se que tem de passar obrigatoriamente por aquele espaço. Relativamente a pórticos fechados, existem dois tipos, um mais baixo e com menor largura, e outro mais alto e com maior largura. No primeiro tipo, será fácil realizar o estudo, e provavelmente uma antena será suficiente para cobrir todo o pórtico, contudo, o segundo tipo terá de ter um estudo mais aprofundado devido ao alcance das antenas e da altura a que uma peça possa passar nesse pórtico. Os pórticos em espaço aberto terão de ter uma abordagem semelhante ao último tipo referido, visto que cada um deles apresenta alturas e larguras diferentes, assim como

diferentes fluxos de peças, o que pode originar a necessidade da utilização de um diferente tipo de antena ou de um diferente número de antenas.

11. Qual a melhor zona da fábrica para se colocarem as tags e iniciar o processo de produção das peças?

Grande parte das peças iniciam o seu processo na zona de Fresagem, contudo podem iniciar em qualquer umas das duas subzonas. Esta informação tem uma vantagem e uma desvantagem. A vantagem é que a zona onde se pode realizar a colocação e registo das tags é reduzida significativamente. Por outro lado, a desvantagem é que pode ser em qualquer uma das subzonas, o que pode criar problemas. Existem duas maneiras de tratar este problema, ou realiza-se o registo inicial num local determinado e a partir daí transportam-se as peças para a zona onde vai ser trabalhada, ou vão ter de existir mais do que um posto de registo e adaptar-se o sistema a esse caso.

12. Qual ou quais as zonas onde o molde final é embalado?

Semelhante ao ponto anterior, a zona de onde se embalam os moldes também não é fixa. Geralmente, os moldes são embalados na zona de bancadas próxima da prensa, de forma a ficarem perto do cais de carga da fábrica. Contudo, se essa zona estiver lotada ou existirem outros motivos, a zona onde se embalam os moldes finais pode ser na zona de bancadas próxima da zona de injeção. O facto de não se saber se é necessário retirar ou não as tags dos moldes, pode condicionar a forma como o sistema deve ser estruturado. Caso não seja necessário retirar as tags, a forma mais logica de realizar este processo será o de colocar uma antena na zona do cais e registar a saída e respetivo fim de processo do molde quando este passar no portão do cais. Por outro lado, caso seja necessário retirar as tags, pode ser colocado um sistema num local estratégico (de preferência, perto da zona de saída ou onde se embala os moldes), de forma a que o operador possa facilmente passar a tag manualmente no sistema de forma a que este registe o termino do processo de fabrico do molde.

13. Qual o melhor sítio onde colocar o leitor na zona da meteorologia?

A zona da meteorologia é um caso especial, visto que cada peça pode entrar tanto pela por como por uma escotilha no teto dessa zona. Contudo, estudando essa zona, percebeu-se que a melhor maneira de realizar a leitura das tags será colocar uma antena na máquina principal (falta o nome da máquina).

14. Para que serve e como funciona a prensa e como está distribuído o trabalho nessa zona?

A prensa, como já foi dito, serve para realizar a calibração dos moldes, porém essa zona está englobada com uma zona de bancadas onde se realizam a montagem, afinação e finalização dos moldes. Isto é importante saber para discutir a importância e o número de vezes em que um molde pode ir à prensa. Como foi citado anteriormente, esta zona tem um grande fluxo de peças, por isso, se for possível entender-se como é realizado o processo de prensagem e número de vezes que pode ser utilizada, pode-se reduzir significativamente o número de registos errados.

C. Problemas do sistema de aquisição de dados:

1. Como funciona um sistema de RFID?

RFID é uma tecnologia de identificação por radio frequência que pode ter inúmeros usos. Os usos mais comuns são a identificação de produtos, o tracking ou localização de objetos e pessoas, sistemas antirroubo e o registo do tempo de duração de processos.

Existem 3 tipos de larguras de banda em que esta tecnologia pode operar, low-frequency (LF), high-frequency (HF) e ultra-high-frequency (UHF). A banda LF opera com frequências entre os 30 e os 300 KHz, a banda HF opera com frequências entre os 3 e o 30MHz, contudo o standard é operarem na gama dos 13,56 MHz. Por fim, a banda UHF opera entre 300 MHz e 3 GHz, contudo, o UHF Gen2 standard dita que a frequência utilizável é entre os 860 e os 960 MHz e a EU RFID standard, opera entre os 860 e os 880 MHz, sendo este último standard o adequado a sistemas que operam na europa.

Cada uma destas bandas tem as suas características e cada uma deve ser utilizada para no seu devido papel. Enquanto que as bandas LH e HF tem alcances muito mais pequenos, sendo a primeira apenas uns centímetros e a segunda apenas até cerca de um metro, a banda UHF consegue alcances de vários metros (depende da potencia e do tipo de antena, mas pode ir entre os 12 e os 15 metros no máximo). Tendo em conta que este projeto se foca no tracking de objetos e o registo do tempo de duração de processos industriais, faz todo o sentido utilizar-se uma tecnologia que permita a deteção de um objeto a uma longa distancia.

Este sistema é geralmente composto por um reader, uma antena e uma tag. Os readers tem as funções de um controlador. Os controladores têm a função de, como o nome diz, controlar, não só a antena, como também o que é necessário fazer com os dados, permitindo a estes realizar o processo de armazenamento de dados e do envio dos mesmos para uma base de dados. A antena é responsável por emitir ondas rádio dentro das frequências da banda que é definida pelo controlador. Cada antena tem as suas características. Em primeiro lugar, o tamanho e o ganho da antena geralmente determina o alcance que consegue alcançar. Para além disso existem outros fatores que podem influenciar as áreas de deteção ou a precisão com que são detetadas as tags e a polarização da antena é algo muito importante neste fator. Uma antena com polarização direcional pode conseguir alcances muito maiores do que a uma antena de polarização circular, contudo se a tag não estiver diretamente orientada com a antena, ou se a tag estiver com algum objeto entre ela e antena, poderá comprometer a leitura da tag, o que não acontece geralmente com as antenas de polarização circular, que são muito menos sensíveis à desorientação das tags e à obstrução de objetos na leitura. As tags podem ser ativas ou passivas. As tags passivas como não possuem qualquer mecanismo de alimentação, para serem detetadas pelas antenas, tem de receber a energia da antena para as “ligar” e poderem assim comunicar com a própria antena. Por outro lado, as tags ativas contem uma bateria que tem energia suficiente para emitir um sinal constante, aumentando assim o raio de deteção da própria tag. Esta diferença faz com que as tags ativas sejam muito mais caras que as passivas. Para além disso existem vários tipos de tags especificas para o ambiente em que se encontram. Existem etiquetas tags que se podem colar em roupa ou plásticos, tags que são resistentes a altas temperaturas, choques, água e outros tipos de líquidos, e existem tags especialmente construídas para objetos e ambientes metálicos. O que estas últimas tags tem de diferente das outras, é que conseguem propagar o seu campo de receção pela zona metálica, utilizando a peça de metal onde estão colocadas como uma “antena”, aumentando assim o seu campo de receção de

sinal proveniente da antena. Isto faz com que problemas como a reflexão do sinal e os problemas de qual o melhor sítio para se colocar a tag na peça sejam muito menores.

2. Qual o melhor reader?

Para a escolha de um reader, há que ver vários fatores, sejam o alcance, o tipo de tecnologia, o tipo de antena, a resistência face a ambientes hostis, e claro, o preço. Tendo em conta este último fator, podem existir dois tipos de direções que se podem seguir, uma mais low-cost, mas que corre o risco de ser menos fiável, ou uma direção mais high-cost, em que o risco de não cumprir os requisitos procurados é praticamente nulo.

Posto isto, a solução low-cost passa pela utilização de um microcontrolador como um ESP32 que permite a ligação com uma antena RFID UHF com um reader integrado a partir de uma porta RS232. O ESP32 consegue também comunicar de diversas formas, seja Wi-Fi, Bluetooth ou LoRa, podendo assim transmitir diversos tipos de dados e com uma panóplia de alcances. Este microcontrolador consegue também guardar os dados a partir de um módulo microSD e registar o tempo a partir de um módulo RTC (Real-time Clock) ou por uma biblioteca NTP (Network Time Protocol) que permite utilizar o horário UTC. Este microcontrolador tem outros módulos que permitem fazer outros tipos de medições como o consumo energético ou medição de temperatura.

Para além disto, é necessária uma antena que se satisfaça as condições deste projeto. Em primeiro lugar, tem de ser uma antena com um reader integrado para que seja possível configurar a própria antena e ler as tags. Por outro lado, esta tem de ser UHF para que haja um maior alcance, o que é importante neste caso. Outro fator importante é o tipo de polarização, como já foi dito anteriormente, e neste caso a melhor é a polarização circular, visto que dessa forma a posição e a orientação da tag não é tão importante, e se for uma antena com um bom ganho e um tamanho considerável, consegue ter um bom alcance de leitura. Por fim, o IP da antena deve ser o 67, visto que o num ambiente hostil como o de fábrica, a antena deve ser resistente a pó, água, líquidos, descargas elétricas e queda.

Por outro lado, numa direção mais high-cost, os readers tem outro tipo de características e oferecem uma melhor fiabilidade de dados. Existem vários readers, tais como o ALR-9680, o ALR-F800 e o ALR-9900+, que permitem a ligação de 4 antenas em simultâneo, tem um sistema POE (Power Over internet), que permite alimentar os readers a partir de um cabo ethernet, sem ter de alimentar com um transformador, ou, pode ser utilizado o transformador, caso necessário, utilizam o protocolo EPC Gen2 standard e tem um sistema autónomo, sensível e inteligente de leitura. O ALR-9680 e o ALR-9900+ são da mesma família, contudo são um pouco diferentes. Enquanto o primeiro é específico para a leitura de tags que se movimentam lentamente numa zona de leitura ou para a leitura de tags em objetos que estão parados no mesmo sítio. Ao contrário deste, o AL-9900+ foi construído para ler muitas tags ao mesmo tempo, independente da velocidade a que estas passem na zona de leitura. O ALR-F800 é um caso especial, sendo o único que em modo POE consegue oferecer 31,5 dB ao contrário dos outros dois que só conseguem oferecer 28/29 dB. Isto pode ser importante se o fator energético for importante, visto que, o sistema POE, tem consumos praticamente nulos, comparando com um transformador convencional. Outro ponto forte deste último é que tem um poder de processamento muito maior que os anteriores, assim como uma memória muito maior, o que permite carregar algoritmos complexos ou até mesmo programas para o reader, podendo utilizar-se este como um EDGE computer.

Para além destes readers, existe o Speedway Revolution R420. Este reader tem uma característica muito boa e que pode ser o ideal para o sistema que se pretende implementar, visto que consegue ligar 32 antenas a si próprio. O fabricante configurou o sistema para que o reader esteja sempre pronto para receber 32 antenas, assim é possível adicionar-se antenas sempre que se queira sem configurações adicionais. Para que o sistema funcione com o máximo de antenas, é necessário utilizarem-se HUBs para aumentar o número de portas. Isto são módulos separados que tem de ser comprados e utilizados com um HUB GPIO.

3. Qual o melhor tipo de tag?

Relativamente às tags RFID, tendo em conta o que foi dito anteriormente, estas têm de possuir as seguintes características:

- a. UHF RFID com uma frequência entre os 860-880 MHz;
- b. Tem de ser tags apropriadas para materiais metálicos;
- c. Fixação magnética para que seja possível alterar o sítio onde a tag se situa na peça e para uma posterior reutilização, caso seja necessário;
- d. Tem de ser resistentes a temperaturas altas, pressão, choque e vibração;
- e. Tem de ter um bom raio de leitura;
- f. Tem de ter um tamanho adequado.

4. Quais os tipos de readers e tags disponíveis no mercado?

Como ainda não foi possível determinar o número de antenas e qual o tipo de antena a utilizar para cada caso, irei apresentar uma estimativa do valor de cada alternativa:

Low-cost:

- Pórticos pequenos - ESP32 + Antena CF-RU5112 (Antena com maior ganho e melhor alcance) + Periféricos – 300-350€ (aprox.);
- Pórticos grandes – ESP32 + (2x) Antena CF-RU5112 (Antena com maior ganho e melhor alcance) + Periféricos – 450-500€ (aprox.);
- Máquinas com porta de correr - ESP32 + Antena CF-RU5112 ou Sonewksdmrhvi6g-02 (1ª Antena com ganho intermédio e alcance médio e 2ª antena com menor ganho e menor alcance) + Periféricos – 200-350€ (aprox.);
- Máquinas sem porta - ESP32 + Antena Sonewksdmrhvi6g-02 (Antena com menor ganho e menor alcance) + Periféricos – 200-250€ (aprox.);

Material necessário para a construção do controlador:

- ESP32 Devkit1 – 9,00€
- Leitor de Cartões micro SD – 5,00€
- Cartão micro SD com 16Gb – 5,50€
- RTC + Pilha – 6,00€
- Adaptador RS232 para a antena – 3,75€
- PCB – 10-20€ (aprox.)

(Preço dos componentes reduz com a quantidade).

High-cost:

Situação 1 – Readers:

- ALR-9680 – 850€ (aprox.)
- ALR-F800 – 1,400€ (aprox.)
- ALR-9900+ - 1,000€ (aprox.)

Tendo em conta que apenas aceitam 4 antenas em simultâneo, serão necessários entre 10 e 15 readers.

Antenas:

- Circular Polarized antenna 20x20 RFID UHF (para as máquinas) – 99,00€
- Circular Polarized antenna 40x40 RFID UHF (para os pórticos) – 130-150€

Para além disso serão necessários cabos de atenuação de perdas para as antenas:

- Low loss cable (15m) – 38,00€
- Low loss cable (10m) – 25,00€
- Low loss cable (5m) – 15,00€

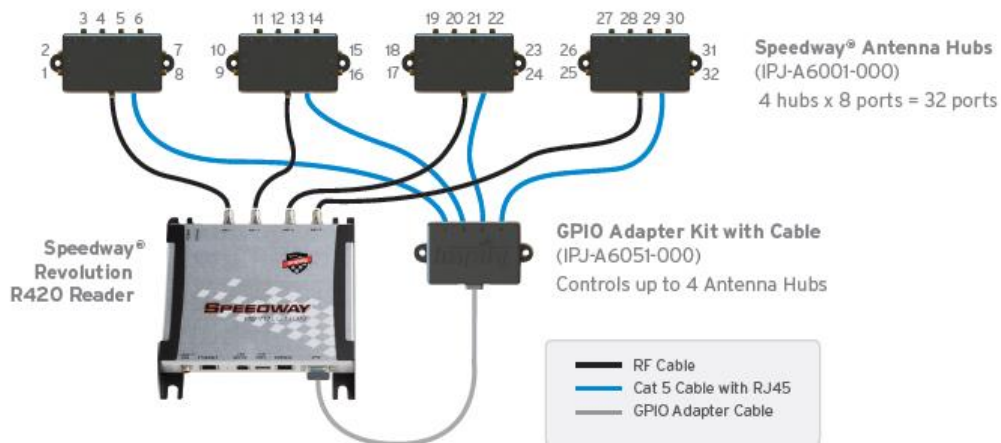
Situação 2

Para este caso, apenas serão necessários 2 a 3 readers, visto que cada reader consegue controlar 32 antenas. Posto isto:

Reader:

- Speedway Revolution R420 – 1115,00€
- Transformador – 79,00€
- Antenna HUB (Cada HUB permite expandir mais 8 antenas) – 240,00€
- GPIO HUB adapter – 130,00€

Para além disso serão necessárias antenas e cabos, mas o preço e será igual ao da situação anterior. Este sistema ficará montado como a figura seguinte:



Realizando um cálculo inicial a quanto poderá ficar um sistema com estas especificações, tendo em conta que existe:

- Entre 6 e 8 pórticos (2 pórticos pequenos e os restantes grandes, contudo será necessário testar);
- Pelo menos 36 máquinas a recolher dados;

Low-cost

- 9.150 – 13.450€

High-cost

Situação 1:

- ALR-9680: 14430 – 19680€
- ALR-9900+: 15930 – 21930€
- ALR-F800: 19930 – 27930€

Situação 2:

- Speedway Revolution R420: 9860 – 12190€

Relativamente às tags, as melhores tags que encontrei com todas as características foram:

- RMT92 – Tag anti-metal, com fixação magnética, alcance de 3-8 metros, IP67, com RFID UHF na frequência EU e com uma dimensão de 9,2cm x 1,5 cm e espessura de 5,2mm. – 6,80€/tag;
- RMT75 – Tag anti-metal, com fixação magnética, alcance de 2-4,5 metros, IP67, com RFID UHF na frequência EU e com uma dimensão de 7,5cm x 1,6 cm e espessura de 6,3mm. – 4,40€/tag;

5. Qual o orçamento disponível?
Não definido
6. Qual a estrutura dos dados a adquirir e que tipo de ficheiro é o mais indicado? (ID da peça, hora, data, etc) (.json, .csv, etc);
Não definido
7. De que forma pretendem comunicar para a base de dados?
Existem dois protocolos de comunicação que podem ser implementados para comunicar para a entre o sistema e a base de dados, OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) e MQTT (Message Queue Telemetry Transport). O protocolo OPC UA é uma plataforma/standard onde diversos tipos de sistemas e equipamentos podem comunicar entre si, enviando mensagens de pedido e resposta, entre clientes e servidores. Estes servidores definem que serviços e informação podem disponibilizar para cada um dos clientes. Cada cliente pode comunicar com um ou mais servidores ou com outros clientes, assim como um servidor pode tomar o papel de cliente e comunicar com outros servidores se necessário. Este protocolo oferece um AddressSpace consistente e integrado que permite a um servidor integrar dados, alarmes e eventos nesse endereço para que seja possível ir a esse servidor retirar todos os dados que sejam necessários, possibilitando assim verificar em tempo real todos os dados obtidos pelo sistema e possíveis falhas que estejam a acontecer. Relativamente à segurança, o OPC UA tem mecanismos de segurança via autenticação de usuários, cliente e servidores, garantindo não só a integridade dos dados, como a encriptação de todas as mensagens enviadas entre clientes e servidores. A grande vantagem deste sistema é que consegue comunicar entre diferentes sistemas ou aparelhos de diferentes empresas, unificando as linguagens em uma só.
O protocolo MQTT é baseado em mensagens curtas e tem um modelo subscription-publishing, onde os publishers enviam mensagens para um servidor e este encaminha as mensagens para todos os clientes que tem a subscription associada, evitando conexões P2P entre o servidor e os clientes, permitindo que os subscritores não necessitem de saber quem envia a informação à qual estão subscritos. O servidor ou broker, é recebe as subscrições dos clientes em tópicos e está fora do sistema geral, fazendo publish sempre que quer enviar os dados para os clientes. Os clientes, normalmente, encontram-se em contacto com as máquinas ou aparelhos e enviam os dados a que são atribuídos (publish) e recebem as informações do tópico onde se encontram subscritos. Tópicos são as routes controladas pelo broker onde todas as informações se encontram e estes podem receber dados ou enviar dados. As mensagens podem ser enviadas em diversos formatos como JSON, XML, encrypted binary e Base64, oferecendo grande flexibilidade, contudo o cliente tem de estar apto a ler aquela que for atribuída. A grande vantagem deste sistema é o facto de consumir pouca largura de banda, é ideal para aparelhos de baixo consumo de energia (ESP32, Raspberry Pi) e para sistemas onde se sabe qual é a linguagem para se comunicar.
Comparando-se os dois protocolos, verifica-se que OPC UA é muito mais completo, tendo em conta que, enquanto o MQTT é apenas um protocolo de comunicação, o OPC UA é uma arquitetura estruturada em que a comunicação é só uma das features que fazem parte da mesma. Assim, é preciso analisar e escolher o melhor sistema, para que seja possível escolher o melhor sistema de transmissão de dados.
8. Quais são os dados mais importantes a adquirir e qual a regularidade de aquisição e envio de dados para a base de dados?
Não definido.
9. Qual o tipo de comunicação a implementar? (Wi-Fi, ethernet, LoRa, etc);

O tipo de comunicação a utilizar está um pouco relacionado com o tipo de sistema a implementar. Enquanto que um ESP32 oferece vários tipos de comunicação, a maior parte dos outros readers tem de comunicar via ethernet, o que se pode tornar um problema, não só por uma questão de implementação como por uma questão de recursos e investimento extra.

10. Em que zona devem ser colocadas as tags e qual o melhor sistema de adesão das mesmas às peças? (Cola, parafuso, íman, etc);

Tendo em conta que as tags tem fixação magnética e são anti-metal, este problema está resolvido.

11. Como implementar o sistema de confirmação de dados, tendo em conta os dados obtidos a partir da máquina, para que seja possível alertar os funcionários ou os operadores, caso exista um problema ou não conformidade?

Terá de existir um sistema que receba os dados da base de dados e os dados provenientes dos readers e que compare se os dados são iguais ou não. Caso sejam iguais, estes devem ser confirmados e enviados para a cloud onde se encontra a base de dados, caso exista algum problema, esse deve ser comunicado e estes dados não devem ser enviados para a base de dados até existir uma confirmação de que os dados foram corretamente obtidos

12. Qual a melhor forma de criar um sistema que associe as várias peças a um dado molde?

Não definido.

13. Qual o número ideal de MCs e MACs a implementar no chão de fábrica?

Não determinado.

14. É necessário realizar a medição da energia consumida por cada máquina? Se sim, qual o melhor sistema?

Não definido.

15. Para onde deve ser mandada a notificação quando existe um problema registado pelo sistema?

Caso haja um desfalque entre a peça que foi inserida na maquina e a peça que foi detetada pelo sistema, deverá ser apresentada uma mensagem de erro num monitor externo e deverão ser informados as pessoas que se acha mais adequadas para obter essa informação (operários, funcionários da zona do armazém, funcionários que controlam os dados,...).

16. Como deve ser realizado o sistema de adição de restrições?

Não definido.

17. Deverá ser criado um sistema de gravação de tags?

Não definido.

18. Qual o melhor sistema final a implementar?

Tendo em conta que é necessário atribuírem-se peças ou o molde final a uma dada tag ou até a várias tags, seria importante realizar um sistema que lesse a tag e que permitisse escrever a informação que se pretende na tag (neste caso o ID da peça), prevenindo erros ou confusões, e ao mesmo tempo, este sistema permitia reutilizar a tag para que se pudesse escrever o ID de outra peça sem que fosse necessário utilizar outra tag. O funcionamento e implementação do sistema, será determinado a partir da zona da fábrica onde será colocado e como funcionará o restante sistema de leitura.

Anexo B – Cálculo de perdas nos cabos (sistema Zebra)