



**David José  
Cardoso Cabral**

**Rastreabilidade de matérias primas e produtos, e a  
sua integração com o ERP da empresa**





**David José  
Cardoso Cabral**

**Rastreabilidade de matérias primas e produtos, e a  
sua integração com o ERP da empresa**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e da Doutora Leonor da Conceição Teixeira, Professora Associada do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - FCT - Fundação para Ciência e Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.



Dedico este trabalho a todos os meus familiares, namorada e amigos que me ajudaram a ultrapassar todos os obstáculos ao longo dos últimos 5 anos.



**O júri / The jury**

presidente / president

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho  
professora auxiliar c/ agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Professor Doutor Jorge Vaz Oliveira Sá  
professor auxiliar da Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Professora Doutora Leonor da Conceição Teixeira  
professora associada do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo  
(co-orientadora)



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Primeiramente agradecer o apoio incondicional dos meus familiares, especialmente aos meus pais, que trabalharam muito para me darem todas as condições para eu chegar aqui.

Agradecer à minha namorada, que apesar da distância, esteve sempre presente e sem o seu apoio e motivação o caminho teria sido mais difícil.

Gostava também de agradecer aos meus amigos, em especial ao Diogo e a dois grupos, Meganers<sup>©</sup> e AC<sup>©</sup>, por todos os momentos incríveis que vivemos neste nosso percurso, porque tenho a certeza de que, sem ajuda e companhia deles, não chegaria aqui. Espero que sejam para a vida!

Não poderia deixar de dar um especial agradecimento ao Professor José Paulo Santos por ter sido sempre prestável e presente no desenvolvimento desta última etapa académica. Também quero deixar um especial obrigado à Professora Leonor da Conceição Teixeira por estar sempre disponível e ter aberto mais portas de desenvolvimento com o seu vasto conhecimento de outras áreas académicas.

Da Vista Alegre, agradecer ao Eng. José Carlos Ferreira pela ajuda e acompanhamento dado ao longo do projeto e ao Eng. Daniel Farinha por me ajudar na compreensão da ligação e comunicação com o ERP da empresa.

Muito obrigado a todos!



## Palavras Chave

Industria 4.0, ERP, RFID, matérias primas, rastreabilidade, controlo in-time, sistema integrado de monitorização.

## Resumo

No campo da rastreabilidade industrial têm surgido sistemas tecnológicos, nomeadamente, sistemas automáticos de rastreabilidade que ajudam as empresas na sua organização, na forma de encarar os problemas e sobretudo ajudam a melhorar ou a manter a sua competitividade, agilizando os fluxos de informação. As empresas que adotem sistemas manuais de rastreabilidade estão sujeitas a uma elevada ocorrência de erros e a uma redução de velocidade de atualização dos dados. Estes problemas são de todo dispensáveis, daí a necessidade de integração ou implementação de novas tecnologias nos sistemas de rastreabilidade - sistemas Automatic Identification and Data Capture (AIDC). Com estes sistemas consegue-se obter economia de tempo, garantia de qualidade, controlo da distribuição interna e externa da empresa e controlo *in-time* da produção. Com a aparição da Indústria 4.0 e a conseqüente integração com vários conceitos dela intrínsecos, como a *Internet of Things*, estes sistemas automáticos de rastreabilidade tornaram-se ainda mais relevantes e automatizados onde é possível criar objetos inteligentes, com a capacidade de comunicar com várias plataformas através da Internet. Para desenvolver estes sistemas é necessário utilizar várias tecnologias, onde se destaca a tecnologia Radio-Frequency Identification (RFID). Esta é das tecnologias com mais aplicações e potencialidades devido à sua capacidade de identificação de objetos sem contacto, alta velocidade e precisão na transmissão de dados. Neste contexto, uma parte do processo produtivo da Vista Alegre, foi utilizado como exemplo de um chão de fábrica no qual se aplica o sistema de rastreabilidade desenvolvido durante este projeto. O sistema concebido faz uso de um microcontrolador de baixo custo, neste caso o ESP-12E, utilizado como unidade de processamento responsável por processar as mensagens trocadas com o leitor RFID. Estes dois componentes formam um dispositivo móvel oferecendo a capacidade de leitura e escrita do sistema RFID, em qualquer parte do chão de fábrica que tenha cobertura Wi-Fi da empresa, isto porque o ESP-12E tem um módulo Wi-Fi utilizado na comunicação com um servidor local que processa e envia os dados para uma base de dados MySQL. Foi desenvolvida uma *interface gráfica* baseada em linguagens *web*, onde existe a possibilidade de interação com o utilizador com o intuito de serem registados vários dados considerados importantes para a empresa. São também apresentadas várias informações do processo produtivo, como o histórico de produção. Este sistema vem confirmar a viabilidade e as potencialidades dos microcontroladores de baixo custo e ferramentas *open source* no desenvolvimento de sistemas de rastreabilidade industrial.



**Keywords**

Industry 4.0, ERP, RFID, raw materials, traceability, in-time control, integrated monitoring system.

**Abstract**

In the field of industrial traceability, technological systems have emerged, namely, automatic traceability systems that help companies in their organization, in their form of facing problems and, above all, they help to improve or maintain their competitiveness, streamlining information flows. Companies that adopt manual traceability systems are subject to a high occurrence of errors and reduced data update speed. These issues are absolutely unnecessary, hence the need to integrate or implement new technologies in the traceability systems - Automatic Identification and Data Capture (AIDC) systems. With these systems it is possible to obtain time savings, quality assurance, control of the company's internal and external distribution and in-time control of production. With the appearance of Industry 4.0 and the consequent integration with several intrinsic concepts, such as Internet of Things, these automatic traceability systems have become even more relevant and automated, in the way that it is possible to create intelligent objects, with the ability to communicate with multiple platforms over the Internet. To develop these systems it is necessary to use several technologies, where Radio-Frequency Identification (RFID) technology stands out. This is one of the technologies with the most applications and potential due to its ability to identify objects without needing contact and high speed and precision in data transmission. In this context, part of Vista Alegre's production process was used as an example of a factory floor to which the traceability system developed during this project was applied. The designed system makes use of a low cost microcontroller, in this case the ESP-12E, used as a processing unit responsible for processing the messages exchanged with the RFID reader. These two components form a mobile device offering the ability to read and write of the RFID system, anywhere on the factory floor that has the company's Wi-Fi coverage, because the ESP-12E has a Wi-Fi module used in communication with a local server that processes and sends the data to a MySQL database. A graphical interface based on web languages was developed, where there is the possibility of interaction with the user in order to record data considered important for the company. Various information about the production process is also presented, such as the production history. This system confirms the viability and potential of low cost microcontrollers and open source tools in the development of industrial traceability systems.



---

# Conteúdo

---

<b>Conteúdo</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>ix</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento . . . . .	1
1.2 Motivação . . . . .	2
1.3 Problema . . . . .	2
1.4 Objetivos . . . . .	2
1.5 Abordagem metodológica . . . . .	3
1.6 Organização do relatório . . . . .	3
<b>2 A Vista Alegre</b>	<b>5</b>
2.1 A Empresa Vista Alegre . . . . .	5
2.2 Processo Produtivo . . . . .	6
2.2.1 Secção de Olaria . . . . .	6
2.2.2 Secção de Peças Planas . . . . .	7
2.2.3 Secção de Esculturas . . . . .	9
2.2.4 Decoração das Peças . . . . .	9
2.2.5 Descrição do processo produtivo . . . . .	10
2.3 Mercado do Grupo Vista Alegre Atlantis . . . . .	12

<b>3</b>	<b>Revisão da bibliografia</b>	<b>15</b>
3.1	Rastreabilidade . . . . .	15
3.1.1	O conceito de rastreabilidade . . . . .	15
3.1.2	A importância e custo da rastreabilidade . . . . .	16
3.2	Indústria 4.0 . . . . .	18
3.2.1	Contextualização Histórica e Conceptual . . . . .	18
3.2.2	Tecnologias de Suporte à indústria 4.0 . . . . .	18
3.3	Modelação de Processos . . . . .	20
3.4	<i>Radio Frequency Identification</i> (RFID) . . . . .	22
3.4.1	Princípio de Funcionamento . . . . .	22
3.4.2	Tipologia das <i>Tags</i> . . . . .	23
3.4.3	Métodos de comunicação . . . . .	24
3.4.4	Armazenamento de dados . . . . .	26
3.4.5	Formato exterior das <i>Tags</i> . . . . .	27
3.4.6	Frequências de funcionamento . . . . .	29
3.4.7	<i>Middleware</i> . . . . .	30
3.4.8	EPCglobal . . . . .	30
3.4.9	Aplicações . . . . .	33
3.4.10	Vantagens e limitações da tecnologia de RFID . . . . .	34
3.5	<i>Node-Red</i> . . . . .	34
3.6	Soluções apresentadas por outros autores . . . . .	36
3.6.1	Integração de Sistemas de Rastreabilidade em Ambiente Industrial . . . . .	36
3.6.2	Proposta de um sistema automático de rastreabilidade, na indústria 4.0 . . . . .	37
3.6.3	<i>A Cyber-physical System Architecture in Shop Floor for Intelligent Manufacturing</i> (2016) . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Solução Proposta</b>	<b>39</b>
4.1	Arquitetura da Solução Proposta . . . . .	39
4.2	Processamento dos Dados . . . . .	41
4.2.1	Unidade de Processamento . . . . .	41
4.2.2	Servidor local . . . . .	42
4.2.3	<i>Interface</i> Gráfica . . . . .	43
4.3	Base de dados proposta . . . . .	43
4.3.1	Diagramas de Entidade-Relação . . . . .	44
4.3.2	Diagramas de Dependências Funcionais . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Implementação da solução proposta</b>	<b>57</b>
5.1	Arquitetura da Implementação . . . . .	57

5.2	Hardware . . . . .	59
5.2.1	Módulo <i>Internet of Things</i> (IoT) . . . . .	59
5.2.2	Contrinex RWM (Read/Write Modules) . . . . .	62
5.2.3	<i>Tag</i> Contrinex . . . . .	64
5.2.4	Raspberry Pi 3B+ . . . . .	65
5.3	Montagem dos Componentes . . . . .	66
5.4	Processamento na Implementação . . . . .	67
5.4.1	Processamento no ESP8266 . . . . .	68
5.4.2	Processamento no Raspberry Pi 3B+ . . . . .	72
5.4.3	Processamento na Interface Gráfica . . . . .	73
5.5	Interação com o ERP . . . . .	77
<b>6</b>	<b>Análise de Resultados e Conclusões</b>	<b>81</b>
6.1	Conclusões gerais . . . . .	81
6.2	Desempenho . . . . .	83
6.3	Melhorias e Trabalhos Futuros . . . . .	84
	<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>
	<b>A Utilização e funcionamento da solução proposta</b>	<b>1</b>
	<b>B Interface Gráfica <i>Web</i></b>	<b>5</b>
	<b>C Esquema Elétrico</b>	<b>11</b>



---

# Lista de Figuras

---

2.1	Vista aérea da Vista Alegre. . . . .	5
2.2	Exemplares de "charutos" de pasta. . . . .	7
2.3	Exemplo de um lote de "charutos". . . . .	8
2.4	Robô paletizador de "charutos". . . . .	8
2.5	Fieiras utilizadas para criar os charutos. . . . .	8
2.6	Etapa inicial de uma linha de produção de chávenas que utiliza os charutos de pasta. . .	9
2.7	Secção de Esculturas. . . . .	9
2.8	Exemplo de produtos decorados. . . . .	10
2.9	Processo produtivo geral da Vista Alegre. . . . .	11
2.10	Secção do processo produtivo geral analisado. . . . .	12
2.11	Família de produtos produzidos na Vista Alegre. . . . .	13
2.12	Volume de Negócios da Vista Alegre de 2018. . . . .	13
3.1	Fases <i>Business Process Managements</i> (BPMs)(Adaptado de[22]) . . . . .	20
3.2	Exemplo de elementos simbólicos da notação BPMN 2.0 . . . . .	22
3.3	Exemplo de um sistema de RFID - adaptado de [25] . . . . .	23
3.4	Tipologia dos Sistemas de RFID - adaptado de [26]. . . . .	24
3.5	Acoplamento Indutivo - adaptado de [26] . . . . .	25
3.6	Acoplamento por Propagação de Ondas (Backscatter) - adaptado de [28] . . . . .	26
3.7	Acoplamento de Contacto - adaptado de [26] . . . . .	26
3.8	<i>Tags</i> : Formato disco. . . . .	28
3.9	<i>Tags</i> : <i>Contactless Smart Card</i> . . . . .	28
3.10	<i>Tags</i> : <i>Smart Label</i> . . . . .	28
3.11	Intervalos de frequências <i>Ultra High Frequency</i> (UHF) utilizados e aceites nas diferentes regiões do mundo. . . . .	30

3.12	Exmeplo de um <i>Electronic Product Code</i> (EPC), adaptado de [30]. . . . .	31
3.13	Arquitetura de um sistema da GS1 EPCglobal <i>Network</i> , adaptado de [30]. . . . .	33
3.14	Exemplo de uma <i>flow</i> do <i>Node-Red</i> aberta num <i>browser</i> . . . . .	35
3.15	Exemplo de uma interface utilizando o <i>dashboard</i> do <i>Node-Red</i> . Adaptado de [33]. . . . .	36
3.16	Arquitetura do sistema proposto por Bártolo [27] . . . . .	37
3.17	Arquitetura do sistema proposto por Rocha [10] . . . . .	37
3.18	Arquitetura do sistema proposto por Liu et al. [34] . . . . .	38
4.1	Arquitetura da solução proposta. . . . .	41
4.2	Diagrama do processamento dos dados do sistema de RFID. . . . .	42
4.3	Cardinalidade e ordinalidade das relações entre entidades [38]. . . . .	45
4.4	Diagrama de entidade e relacionamento da solução. . . . .	46
4.5	Relações entre entidades <i>colaborador</i> e <i>login</i> . . . . .	47
4.6	Relações entre entidades <i>erp</i> e <i>login</i> . . . . .	48
4.7	Relações entre entidades <i>login</i> , <i>recacao</i> , <i>apara</i> e <i>extrudido</i> . . . . .	48
4.8	Relações entre entidades <i>erp</i> , <i>recacao</i> , <i>apara</i> e <i>extrudido</i> . . . . .	49
4.9	Relações entre entidades <i>recacao</i> , <i>apara</i> , <i>extrudido</i> e <i>rfid</i> . . . . .	50
4.10	Diagrama de dependências funcionais. . . . .	51
4.11	Diagrama da Relação A. . . . .	52
4.12	Diagrama da Relação "A1" e "A2" respetivamente - Normalizados. . . . .	52
4.13	Diagrama da Relação "B" - Não Normalizado. . . . .	53
4.14	Diagrama da Relação "B1" - Normalizado. . . . .	54
4.15	Diagrama da Relação "B2" - Normalizado. . . . .	54
4.16	Diagrama da Relação "C" - Normalizado. . . . .	55
4.17	Tabelas utilizadas na base de dados. . . . .	55
5.1	Representação do modo de funcionamento da implementação. . . . .	58
5.2	Placa ESP8266 NodeMCU. . . . .	59
5.3	Identificação dos pinos da placa ESP8266 NodeMCU, adaptado de [40] . . . . .	60
5.4	Módulo RS485 Olimex MOD-RS485. . . . .	61
5.5	Diagrama funcional do <i>transceiver</i> RS485, adaptado de [41] . . . . .	61
5.6	Sensor Contrinex RLS-1181-020 <i>Read/Write Module</i> (RWM). . . . .	63
5.7	Potenciómetro do sensor Contrinex RLS-1181-020 RWM, adaptado de [42]. . . . .	64
5.8	<i>Tag</i> Contrinex RTP-0501-020. . . . .	65
5.9	Estrutura da memória das <i>Tags</i> , adaptado de [40] . . . . .	65
5.10	Exemplo de um Raspberry PI 3B+, adaptado de [44] . . . . .	66
5.11	Servidor local (Raspberry Pi 3B+) sem periféricos ligados. . . . .	67
5.12	Servidor local (Raspberry Pi 3B+) sem periféricos ligados. . . . .	67

5.13	Configurações iniciais do processamento no ESP8266. . . . .	69
5.14	Processamento do ESP8266 ao iniciar o sistema RFID. . . . .	69
5.15	Verificação da mensagem recebida no ESP8266. . . . .	70
5.16	Processamento após ser detetada ou não uma <i>tag</i> . . . . .	71
5.17	Processamento após ser detetada ou não uma <i>tag</i> . . . . .	73
5.18	Exemplo de uma <i>flow</i> criada no <i>Node-Red</i> . . . . .	74
5.19	Exemplo de uma <i>flow</i> criada no <i>Node-Red</i> . . . . .	75
5.20	<i>Tab</i> do registo de propriedades. . . . .	75
5.21	<i>Tab</i> de gráficos com a informação relevante. . . . .	76
5.22	<i>Tab</i> de identificação das propriedades associadas a uma determinada <i>tag</i> acedida por um <i>smartphone</i> . . . . .	77
5.23	Programa de comunicação com o SAP. . . . .	79
A.1	BPMN representativo do passo 2 da lista anterior. . . . .	2
A.2	BPMN representativo do passo 3, nomeadamente na etapa da preparação da pasta com aparas. . . . .	3
A.3	BPMN representativo do passo 4 da lista anterior. . . . .	3
A.4	BPMN representativo do passo 5 da lista anterior. . . . .	3
B.1	<i>Tab</i> dedicada ao registo de propriedades. . . . .	5
B.2	<i>Tab</i> para registo da entrada de matéria prima. . . . .	6
B.3	<i>Tab</i> de registo dos valores das propriedades com notificação de erro. . . . .	6
B.4	<i>Tab</i> dedicada à exposição dos registos efetuados. . . . .	6
B.5	<i>Tab</i> com gráficos de modo a controlar os valores de certas propriedades e a produção de lotes. . . . .	7
B.6	<i>Tab</i> com <i>gauges</i> para monitorizar os valores das propriedades. . . . .	7
B.7	<i>Tab</i> dedicada ao controlo do sistema RFID. . . . .	8
B.8	<i>Tab</i> gráficos acedida por um <i>smartphone</i> com a orientação na horizontal. . . . .	8
B.9	<i>Tab</i> de registo dos valores das propriedades acedida por um <i>smartphone</i> com a orientação na horizontal. . . . .	9
B.1	Esquema elétrico do microcontrolador, módulo RS485 e leitor da Contrinex. . . . .	11



---

# Lista de Tabelas

---

2.1	Números associados ao volume de negócios da Vista Alegre dos últimos 3 anos. . . . .	13
3.1	Custos dos sistemas de rastreabilidade [12]. . . . .	17
4.1	Relação Universal. . . . .	51
4.2	Relação A - Não normalizada. . . . .	52
4.3	Sub relações "A1" e "A2" - Normalizadas. . . . .	53
4.4	Relação "B" - Não normalizada . . . . .	53
4.5	Sub relações "B1" e "B2" - Normalizadas. . . . .	54
4.6	Tabela da Relação "C" - Normalizada. . . . .	54
5.1	Lógica pinos $\overline{RE}$ e DE para o envio de dados, adaptado de [41]. . . . .	62
5.2	Lógica pinos $\overline{RE}$ e DE para a recepção de dados, adaptado de [41]. . . . .	62
5.3	Estrutura de mensagem do protocolo ContriNET, adaptado de [42]. . . . .	64



---

# Acrónimos

---

<b>ADC</b>	<i>Analogic to Digital Converter</i>	<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>AIDC</b>	<i>Automatic Identification and Data Capture</i>	<b>ISO</b>	<i>Organização Internacional de Normalização</i>
<b>BAPI</b>	<i>Business Application Programming Interface</i>	<b>IT</b>	<i>Information Technology</i>
<b>BOPF</b>	<i>Business Objects Processing Framework</i>	<b>LF</b>	<i>Low Frenquency</i>
<b>BPD</b>	<i>Business Process Modeling Diagram</i>	<b>LDO</b>	<i>Lowdropout</i>
<b>BPM</b>	<i>Business Process Management</i>	<b>ONS</b>	<i>Object Name Service</i>
<b>BPMI</b>	<i>Business Process Management Initiative</i>	<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>BPMN 2.0</b>	<i>Business Process Modelling Notation</i>	<b>PHP</b>	<i>Hypertext Preprocessor</i>
<b>CSS</b>	<i>Cascading Style Sheets</i>	<b>PLC</b>	<i>Programmable Logic Controller</i>
<b>CPS</b>	<i>Cyber Physical Systems</i>	<b>PMEs</b>	<i>Pequenas e Médias Empresas</i>
<b>EEPROM</b>	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>	<b>PVC</b>	<i>Policloreto de vinil</i>
<b>EPC</b>	<i>Electronic Product Code</i>	<b>PWM</b>	<i>Pulse Width Modulation</i>
<b>EPCIS</b>	<i>EPC Information Services</i>	<b>RAM</b>	<i>Random Access Memory</i>
<b>ERP</b>	<i>Enterprise Resource Planning</i>	<b>RF</b>	<i>Rádio-Frequência</i>
<b>FDX</b>	<i>Full-Duplex</i>	<b>RFID</b>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<b>FMCG</b>	<i>Fast-moving consumer goods</i>	<b>RWM</b>	<i>Read/Write Module</i>
<b>FNBC</b>	<i>Forma Normal de Boyce-Codd</i>	<b>SDIO</b>	<i>Secure Digital Input/Output Interface</i>
<b>FRAM</b>	<i>Ferromagnetic Random Access Memory</i>	<b>SGTIN</b>	<i>Serialized Global Trade Item Number</i>
<b>GPIO</b>	<i>General Purpose Input/Output</i>	<b>SoC</b>	<i>System on Chip</i>
<b>GTIN</b>	<i>Global Trade Item Number</i>	<b>SPI</b>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
<b>GVAA</b>	<i>Grupo Vista Alegre Atlantis</i>	<b>SRAM</b>	<i>Static Random Access Memory</i>
<b>HDX</b>	<i>Half-Duplex</i>	<b>SSID</b>	<i>Service Set Identifier</i>
<b>HF</b>	<i>High Frequency</i>	<b>TTL</b>	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
<b>HTML</b>	<i>Hypertext Markup Language</i>	<b>UART</b>	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>	<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frenquency</i>
<b>I2C</b>	<i>Inter-Integrated Circuit</i>	<b>UID</b>	<i>Unique Identifier</i>
<b>ICT</b>	<i>Information and Communications Technology</i>	<b>UML</b>	<i>Unified Modeling Language</i>
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>	<b>UP</b>	<i>Unidade de Processamento</i>
		<b>URL</b>	<i>Uniform Resource Locator</i>
		<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>
		<b>VDC</b>	<i>Voltage Direct Current</i>
		<b>WORM</b>	<i>Write Once Read Many</i>



---

# Capítulo 1

## Introdução

---

Este capítulo faz o enquadramento do tema no panorama atual da indústria, a motivação, problema e objetivos associados à realização do Projeto bem como a solução proposta. No final do capítulo é explicada a estrutura deste relatório de projeto.

### 1.1 Enquadramento

A rastreabilidade industrial foi impulsionada com o aparecimento da Indústria 4.0 que é caracterizada pela fusão conceptual de tecnologias que encurtam a fronteira entre os sistemas físico, digital e o ser humano. Isso é possível devido à evolução crescente do poder computacional (permitindo maior rapidez e capacidade em processar informação), dos sistemas de comunicação (incluindo internet e tecnologias wireless) e da inovação em software. Estes avanços tecnológicos dão origem a inovações como a inteligência artificial, *big data* e *analytics*, simulação de processos, *Internet of Things* (IoT), sensores inteligentes, interfaces avançadas homem-máquina, realidade aumentada e virtual, computação em nuvem, fabrico aditivo, entre outros [1], [2].

Essas inovações têm sido cada vez mais inseridas no campo da rastreabilidade industrial nomeadamente associadas a sistemas automáticos de rastreabilidade que ajudam as empresas na sua organização, na forma de encarar os problemas e sobretudo ajudam a melhorar ou a manter a sua competitividade, agilizando os fluxos de informação [3]. As empresas que adotem sistemas manuais de rastreabilidade estão sujeitas a uma elevada ocorrência de erros e a uma redução de velocidade de atualização dos dados. Estas características são de todo dispensáveis, daí a necessidade de integração ou implementação de novas tecnologias nos sistemas de rastreabilidade - *Automatic Identification and Data Capture* (AIDC). Com estes sistemas é possível obter economia de tempo, garantia de qualidade, controlo da distribuição interna e externa da empresa e controlo *in-time* da produção [4]. A indústria está em constante

evolução e cada vez mais necessita de processos de optimização e gestão da produção avançados.

## 1.2 Motivação

O aumento da globalização contribui para uma constante adaptação do mercado por parte da indústria de forma a poder responder às necessidades de mercado. De modo a que a indústria seja competitiva, deverá responder à procura imprevisível do cliente que, cada vez mais exige produtos com características diversificadas e que seja garantida a qualidade durante o percurso do mesmo. A procura da redução da intervenção humana, a diminuição de erros no decurso dos processos de fabrico e um menor custo de produção são alguns dos aspectos que as empresas produtoras procuram alcançar e melhorar. É com consciência dessas melhorias e optimizações que leva as empresas a adoptar, cada vez mais, sistemas de rastreabilidade.

## 1.3 Problema

A Vista Alegre sugeriu este tema com o objetivo principal de rastrear a matéria prima que dá origem aos seus produtos. Para dar resposta a este problema está associada a digitalização e monitorização de uma parte do seu longo processo produtivo, que dependia muito de registos manuais em papel e posterior inserção em ficheiros excel, de modo a serem guardados e apresentados em gráficos. Por último foi pedido também que o *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa fosse atualizado com o registo de chegada de matéria prima, com várias informações acerca da mesma.

## 1.4 Objetivos

Os objetivos deste Projeto passam por manter o ERP da empresa atualizado em tempo real, com a matéria prima presente em armazém. Faz parte também dos objetivos deste projeto realizar um novo modo de extração e visualização das propriedades associados à matéria prima de modo a haver um melhor controlo de qualidade da mesma. Essas propriedades serão associadas a um número identificativo único enviado para uma *tag* de um sistema RFID e vão ser guardadas numa base de dados de modo a que seja possível fazer a ligação entre os lotes criados e as propriedades da matéria prima utilizada para os criar. Para ir ao encontro desses objetivos, propôs-se um sistema de rastreabilidade móvel que pode ser utilizado em vários pontos do chão de fábrica já que não existe uma linha de produção fixa, na parte do processo produtivo que foi alvo de alterações. Em suma, o grande objetivo foi desenvolver um sistema que resolvesse os problemas propostos, utilizando equipamentos de baixo custo, ferramentas *open source* e alguns conceitos que fazem parte da Indústria 4.0 de modo a integrar vários dispositivos numa aplicação IoT totalmente operacionalmente.

## 1.5 Abordagem metodológica

De modo a desenvolver uma solução que desse resposta aos problemas apresentados anteriormente foi utilizada a seguinte metodologia:

- Observação do processo - foi observado a secção do processo em que este projeto foi baseado.
- Levantamento de requisitos - foram analisados os documentos associados ao processo e realizadas conversas informais com os potenciais utilizadores do sistema.
- Estudo de derivados sistemas de rastreabilidade - desenvolveu-se um estudo de outros sistemas de rastreabilidade de modo a perceber como foram desenvolvidos.
- Conceptualização da solução - foi criada uma solução proposta que dá resposta aos objetivos definidos.
- Implementação da solução - desenvolvimento do sistema de rastreabilidade com base na solução proposta.
- Análise de desempenho - foram realizados testes para analisar a viabilidade do sistema criado.

## 1.6 Organização do relatório

Este documento está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 2 - Vista Alegre:** é dedicado à apresentação da Vista Alegre realizando uma descrição da história da empresa, dos processos produtivos utilizados e do mercado e volume de negócios associados à mesma.
- **Capítulo 3 - Estado de Arte:** são apresentados os conceitos, as tecnologias e linguagens de programação utilizadas na execução deste projeto. No final deste capítulo, faz-se referência a alguns artigos e teses relevantes para o tema encontradas durante a fase de pesquisa deste projeto.
- **Capítulo 4 - Solução Proposta:** é descrita a solução proposta. É neste capítulo que se apresenta a arquitectura proposta para o desenvolvimento do projeto bem como a forma com que os conceitos, tecnologias e linguagens de programação utilizadas vão ser conectadas e interligadas entre si de modo a atingir os objetivos propostos.
- **Capítulo 5 - Implementação da Solução Proposta:** tem o propósito de descrever a implementação da solução proposta no chão de fábrica da Vista Alegre SA. É apresentado um esquema geral da implementação, são descritas as principais funcionalidades da interface gráfica construída bem como o seu modo de utilização, é também especificado cada um dos equipamentos usados e como se integram no sistema de rastreabilidade fazendo sempre a analogia com a base de dados criada.
- **Capítulo 6 - Análise de dados e Conclusões:** são efectuadas as análises ao que foi realizado ao longo do projeto e as respetivas conclusões.



---

## Capítulo 2

# A Vista Alegre

---

Neste capítulo é realizada a apresentação da Vista Alegre SA, empresa que propôs o tema deste projeto e proporcionou as condições para a sua realização.

### 2.1 A Empresa Vista Alegre

A Fábrica da Vista Alegre foi fundada em 1824 por José Ferreira Pinto Basto, tornando-se a primeira unidade industrial dedicada à produção da porcelana em Portugal. Localizada na cidade de Ílhavo pertencente ao distrito de Aveiro, a Vista Alegre iniciou o seu caminho com a produção de vidro e cerâmica "pó de pedra", face ao desconhecimento da pasta de porcelana. Em 1880 a Vista Alegre cessou a produção de vidro, tendo-se dedicado exclusivamente ao fabrico de porcelana [5].



**Figura 2.1:** Vista aérea da Vista Alegre.

Em 1964 foi inaugurado o Museu da Vista Alegre expondo ao público peças representativas do longo e rico caminho percorrido, chegando a produzir peças para Sua Majestade Isabel II, Rainha de Inglaterra. Em 1997 concretiza-se a fusão com o grupo cerâmico Cerexport que duplicou o volume de negócios da Vista Alegre. Posteriormente em maio de 2001 dá-se a fusão com o grupo Atlantis formando o maior grupo nacional de *tableware* e o sexto maior do mundo nesse setor, o Grupo Vista Alegre Atlantis (GVAA), cruzando-se novamente com o vidro e introduzindo o cristal à história da empresa. Em 2009, o GVAA passou a integrar o portefólio de marcas do Grupo Visabeira, após a oferta pública lançada com sucesso sobre as ações representativas do capital social da empresa. De notar que a Vista Alegre rege-se pelo rigor, sofisticação e versatilidade, aliando harmoniosamente tradição e modernidade, a Vista Alegre tem sabido evoluir em sintonia com a cultura do seu tempo, projetando-a universalmente através de produtos que traduzem as mais recentes tendências do design, fabricados de acordo com os mais elevados padrões de qualidade e funcionalidade [5].

## 2.2 Processo Produtivo

Importa mencionar que Vista Alegre utiliza pasta de porcelana como matéria prima para desenvolver os seus produtos. Esta é composta por uma mistura em proporções variáveis de [5]:

- caulino - argila pura altamente refractária que é responsável por conferir à pasta translucidez e brancura.
- quartzo - é fundamental para a formação do "esqueleto" das peças devido à sua elevada dureza.
- feldspato - age como fundente durante o processo de cozedura.

Existem diferentes processos produtivos para desenvolver a porcelana, dependendo do tipo de produto e suas características. A Vista Alegre produz porcelana de mesa, decorativa, *giftware* e *hotelware*, vidro e cristal de alta qualidade, e ainda cutelaria em aço inoxidável 18/10.

### 2.2.1 Secção de Olaria

Nesta área o foco da produção são as peças ocas tais como cafeteiras e bules. Para a obtenção destes produtos recorre-se à conformação por enchimento, nesta técnica a pasta líquida de porcelana, designada por lambugem, é vertida em moldes de gesso. A formação da peça vai depender da capacidade de absorção do gesso e tempo de repouso da pasta no interior do molde. Logo que a espessura da camada de pasta formada no interior do molde é atingida, são vazadas as formas e despejado o excesso. Após um período de secagem a peça é retirada do interior da forma finalizando o processo [5].

### 2.2.2 Secção de Peças Planas

O fabrico de peças planas, chávenas e peças com eixo de simetria é obtido através de dois processos de conformação, por contra-moldagem e por prensagem isostática. No primeiro processo a pasta plástica da porcelana, também designada por "charutos", que podem ser observados na Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Exemplos de "charutos" de pasta.

Estes "charutos" são obtidos através de pasta líquida processada nas feiras representadas na Figura 2.5. Esses charutos são colocados sobre uma forma de gesso e comprimidos por um cabeço metálico rotativo que, ao pressionar a pasta contra o molde, a obriga a tomar a forma do mesmo. Após serem criados são paletizados com o auxílio de um robô, criando assim, os lotes de "charutos". Os lotes criados e o robô são apresentados na Figura 2.3 e 2.4 respetivamente.

Por sua vez no processo de prensagem isostática é utilizada a pasta seca, também designada granulada. A possibilidade do granulado poder ser conformado deve-se à incorporação de agentes ligantes na preparação da pasta a ser atomizada através de um processo de secagem por atomização. A conformação por prensagem isostática é auxiliada por moldes isostáticos e é utilizada para a produção de peças planas tais como pratos e pires. Este tipo de conformação possibilita grandes capacidades de produção com o emprego de pouca mão-de-obra.

Depois de secas e acabadas, as peças são encaminhadas para a primeira cozedura, designada de chacotagem, estas são sujeitas a uma temperatura de aproximadamente 980 °C durante um período que varia entre as 17,5 horas e as 24 horas. A cozedura por chacote permite a formação de uma estrutura porosa controlada, com uma determinada resistência mecânica necessária para a manipulação das peças na operação de vidragem. Este processo que tem como objectivo conferir à porcelana, após a cozedura a alta temperatura, uma superfície brilhante e agradável ao tacto e é efectuada por um processo de imersão numa suspensão de vidro, devidamente parametrizado em termos reológicos.

Após conclusão do processo de vidragem as peças são sujeitas a uma segunda cozedura a uma temperatura aproximada de 1400 °C com duração entre as 19 e as 24 horas. Esta é



**Figura 2.3:** Exemplo de um lote de "charutos".



**Figura 2.4:** Robô paletizador de "charutos".

uma etapa fundamental para que a porcelana adquira as características de total translucidez, vitrificação e brancura. A brancura das peças de porcelana deve-se à conversão do óxido de ferro trivalente (ião corado) em óxido de bivalente (ião não corado) [5].



**Figura 2.5:** Feiras utilizadas para criar os charutos.



**Figura 2.6:** Etapa inicial de uma linha de produção de chávemas que utiliza os charutos de pasta.

### 2.2.3 Secção de Esculturas

A produção de esculturas é a mais complexa o que exige o fabrico de diferentes partes que posteriormente se reúnem através de colagem, dando origem à peça completa. Esta técnica exige grande experiência e mestria por parte dos oleiros, de modo a garantir a qualidade do produto final [5]. Na Figura 2.7 é apresentada uma escultura desenvolvida nesta área de produção da Vista Alegre.



**Figura 2.7:** Secção de Esculturas.

### 2.2.4 Decoração das Peças

Na Vista Alegre a decoração das peças é obtida através da aplicação de decalques, filagem e pintura manual ou à pistola [5].

- **Decalque** - consiste na aplicação sobre peças cozidas de um motivo impresso sobre um

papel próprio e coberto por um filme protetor (laca). Quando mergulhado em água, o motivo decorativo destaca-se e é aplicado na peça.

- **Pintura à pistola** - consiste na aplicação de fundos com recurso a um aerógrafo, exigindo por parte do pintor uma grande capacidade técnica na preparação das cores e na sua aplicação uniforme.
- **Pintura manual** - é reservada a peças de elevado valor artístico e comercial, recorrendo a uma mão-de-obra especializada e altamente qualificada.

Todas as decorações têm de ser sujeitas a uma nova cozedura em fornos com temperaturas que não ultrapassam os 860 °C [5]. Na Figura 2.8 estão representados vários produtos alvo de decoração dos vários tipos.



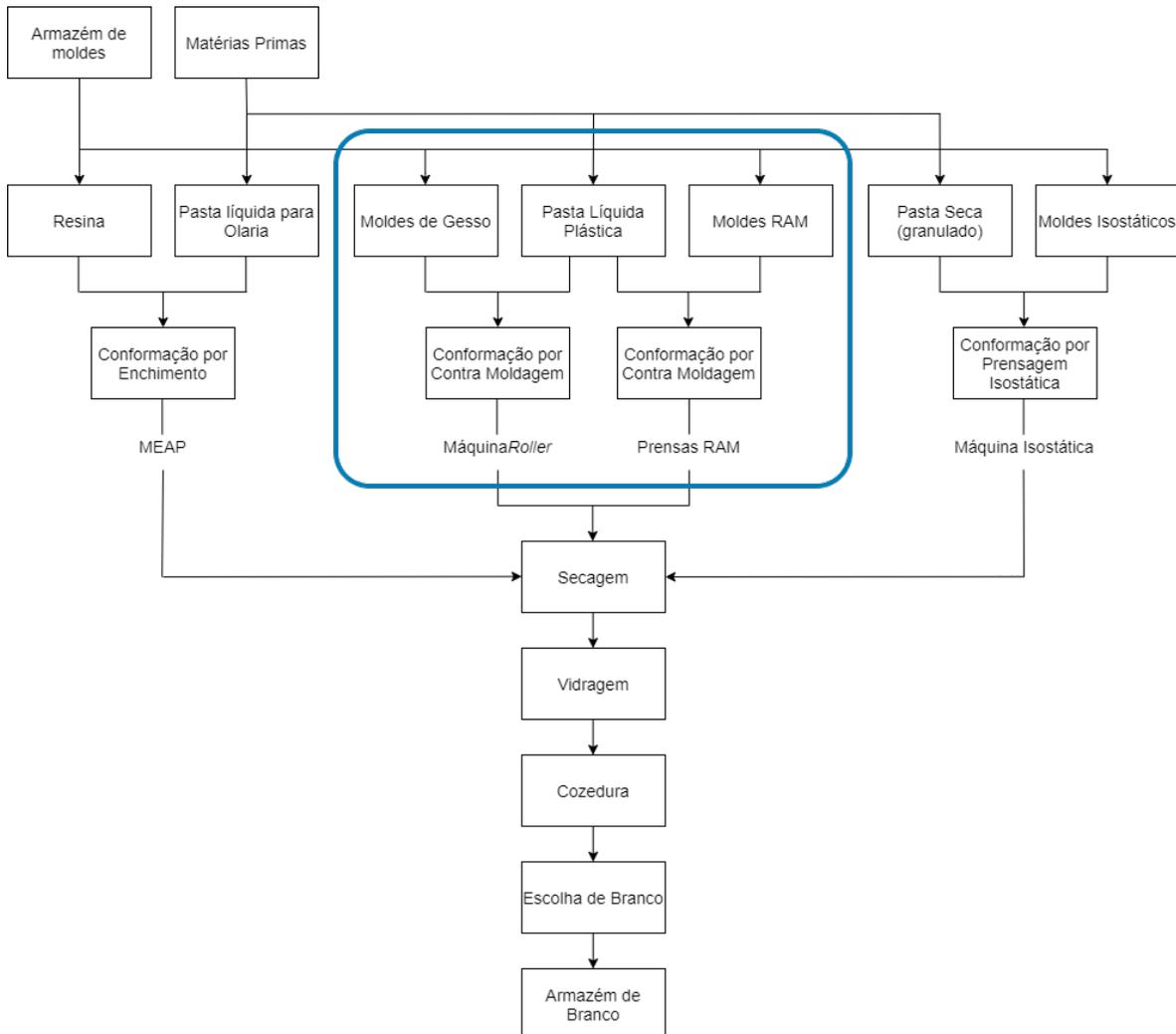
**Figura 2.8:** Exemplo de produtos decorados.

### 2.2.5 Descrição do processo produtivo

Na Figura 2.9 é possível observar um fluxograma representativo do processo produtivo das secções de olaria e de peças planas descritas anteriormente, contudo a solução proposta vem dar resposta a uma parte restrita deste processo produtivo.

O fluxograma presente na Figura 2.10 vai de encontro à secção do processo produtivo total destacada na Figura 2.9, alvo de análise fulcral neste projeto.

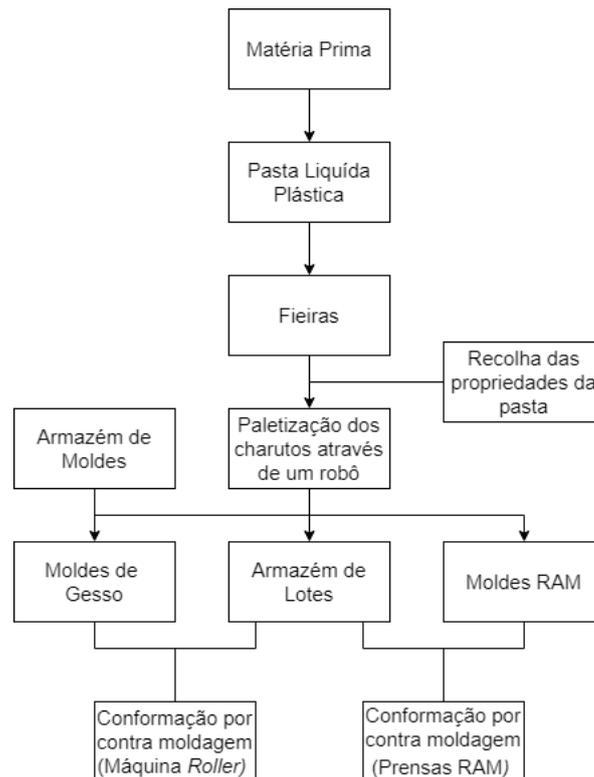
É nesta fração do processo produtivo que são recolhidas amostras de pasta que são analisadas no laboratório da Vista Alegre pelos técnicos de qualidade especializados neste tipo de matéria prima. De momento esse processo de recolha é realizado através do preenchimento de folhas excel com as propriedades utilizadas para determinar a qualidade da pasta. Assim são criados vários ficheiros excel com os valores em tabelas e gráficos utilizados para demonstrar a evolução dos parâmetros importantes. Deste modo os valores não são guardados nem no ERP, por política da empresa, nem em base de dados e ainda é necessário atualizar as tabelas e gráficos à medida que são retirados novos valores das propriedades.



**Figura 2.9:** Processo produtivo geral da Vista Alegre.

É neste contexto que surge a solução proposta deste projeto, detalhada no capítulo 4, que agiliza e automatiza este processo, facilitando tanto o registo de valores, como a análise e representação dos mesmos.

Esta solução não só proporciona uma interface gráfica e base de dados para as propriedades recolhidas, mas também um novo processo de identificação dos lotes de charutos, de maneira a ser possível fazer a ligação dos mesmos com as propriedades recolhidas através das amostras. Assim vai ser possível saber qual o lote que está a ser processado e as respetivas propriedades da pasta dos charutos que compõem o lote.



**Figura 2.10:** Secção do processo produtivo geral analisado.

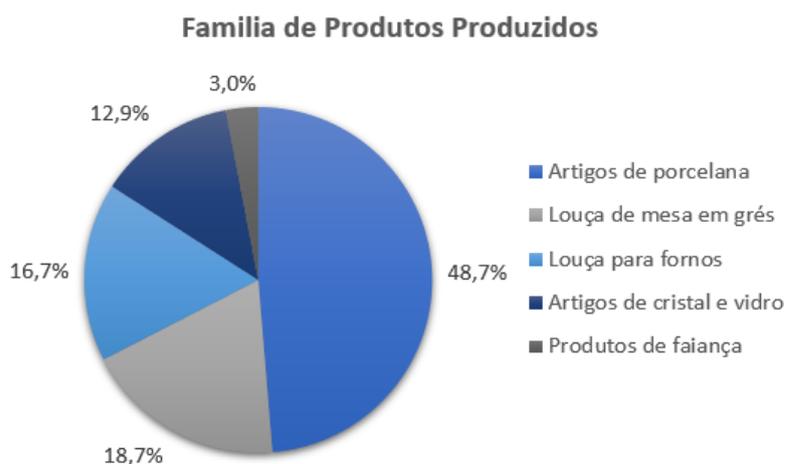
### 2.3 Mercado do Grupo Vista Alegre Atlantis

Como já foi mencionado anteriormente a Vista Alegre Atlantis tem a sua área de atividade ligada ao fabrico e comercialização de produtos de cerâmica e cristal. A Vista Alegre Atlantis tem hoje aproximadamente 1400 colaboradores, concentrando-se nas seguintes áreas de negócio [6]:

- Produção de loiça em porcelana, cerca de 15 milhões peças/ano, na unidade fabril da Vista Alegre em Ílhavo.
- Produção de loiça em grés, na unidade fabril de Taboeira em Aveiro.
- Produção loiça em faiança, aproximadamente 7 milhões de peças/ano, na unidade fabril de Aradas, em Aveiro.
- Produção de cristal e vidro manual, com mais de 2 milhões de peças/ano, na unidade fabril de Casal de Areia, em Alcobaça.
- Lojas próprias (Lojas Vista Alegre, Lojas Atlantis e Lojas de Fábrica que perfazem na actualidade 33 espaços comerciais).

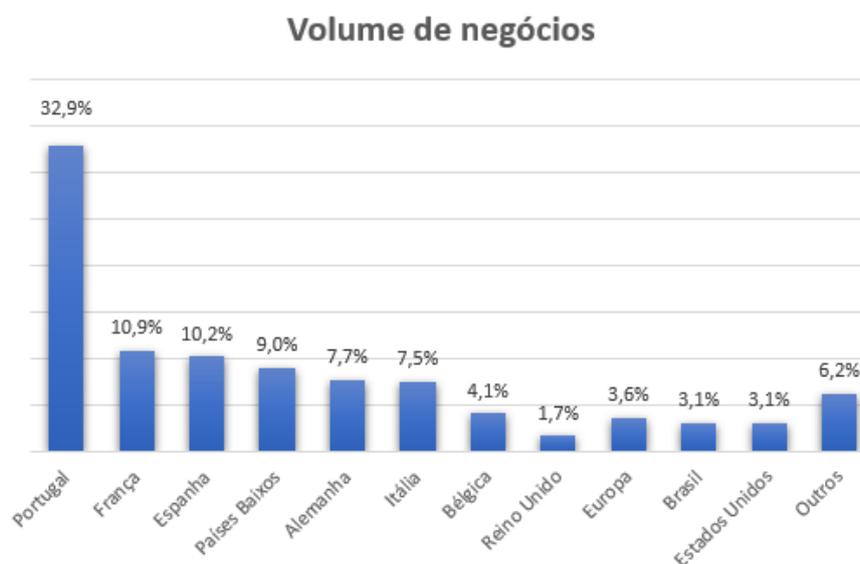
A repartição por família de produtos do volume de negócios está representado na Figura 2.11.

Essas famílias de produtos geram um volume de negócios distribuído por todo o mundo. Através da Figura 2.12 é perceptível que a Vista Alegre tem mais de metade do seu volume de negócios na Europa (55%) não contabilizando o mercado nacional que, por sua vez representa praticamente um terço do volume de negócios total. O restante é distribuído um pouco pelo



**Figura 2.11:** Família de produtos produzidos na Vista Alegre.

resto do mundo. Essa distribuição geográfica do volume de negócios da Vista Alegre reflecte-se em num crescimento económico e nos valores apresentados na Tabela 2.1.



**Figura 2.12:** Volume de Negócios da Vista Alegre de 2018.

**Tabela 2.1:** Números associados ao volume de negócios da Vista Alegre dos últimos 3 anos.

Ano	2018	2017	2016
Volume de negócios (EUR-milhares)	99.022	84.981	75.439
Despesas de pessoal (EUR-milhares)	33.505	29.575	27.203
Impostos (EUR-milhares)	1.568	428	250
Resultado líquido (EUR-milhares)	7.225	4.218	1.741
Fim do exercício (mês/ano)	12/18	12/17	12/16
Duração do exercício (meses)	12	12	12



---

## Capítulo 3

# Revisão da bibliografia

---

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica relacionada com o tema do projeto podendo ser dividida em quatro secções.

Primeiramente é feita uma descrição do conceito da rastreabilidade industrial, da importância que esta tem nas empresas e das vantagens económicas que a criação e aplicação de sistemas de rastreabilidade providenciam.

A segunda secção foca-se no modo com que a indústria 4.0 contribui para a elaboração dos sistemas de rastreabilidade e na relevância que a modelação dos processos tem na criação dos mesmos.

O terceiro ponto concentra-se na tecnologia de RFID que é utilizada em grande parte dos sistemas de rastreabilidade e foi uma peça fulcral na concretização da solução proposta.

A secção final contém alguns exemplos de dissertações no âmbito da rastreabilidade industrial, apresentando assim outras maneiras de solucionar problemas semelhantes.

### 3.1 Rastreabilidade

#### 3.1.1 O conceito de rastreabilidade

A rastreabilidade é definida como a capacidade de guardar e aceder a dados de identificação e classificação de produtos e das respetivas origens, é um processo contínuo pois segue o produto durante o seu processo produtivo e faz com que seja possível conhecer certas características como o ano, semana ou dia em que um produto foi fabricado [7]. Esta não está apenas ligada à identificação das características físicas do produto, abrangendo também a história do produto e informações consideradas relevantes nas várias fases do processo de produção. Este processo foi criado com o objetivo de minimizar a dimensão e custos associados a problemas de qualidade, melhorar a gestão de produtos e elevar o cumprimento dos requisitos impostos por clientes e regulamentos [8], [9].

Um sistema deste tipo permite acompanhar e monitorizar um processo de produção, combinando as informações com o fluxo de material do mesmo. Para a criação destes sistemas é necessário integrar os seguintes quatro elementos [7], [8]:

- **A dimensão física do lote a rastrear** - O tamanho do lote de matéria prima e a manutenção da sua integridade, determinarão a resolução e a precisão do sistema de rastreabilidade.
- **Aquisição de dados** - São precisos dois tipos de dados: dados relacionados com o processo de produção que registam informações do processo e dados de rastreio do lote relacionados com a movimentação e utilização do mesmo.
- **Identificação do produto** - Após adquirir os dados é imperativo associá-los ao produto ou processo correspondente.
- **Relatório** - Retirar as informações relacionadas com os dados adquiridos e realizar uma análise de modo a otimizar o processo produtivo e garantir uma maior qualidade no produto.

Tradicionalmente as informações retiradas pelos sistemas de rastreabilidade dependem de registos, de relatórios em papel e do trabalho dos colaboradores, contudo os avanços tecnológicos direcionaram o panorama da rastreabilidade para utilização de base de dados computacionais, juntamente com as tecnologias AIDC, tais como códigos de barras e de RFID. A amplitude do uso destas tecnologias, assim como a facilidade de partilha de informação, permitem uma grande acessibilidade aos colaboradores de modo a acederem às informações e dados durante o processo de produção [10].

### 3.1.2 A importância e custo da rastreabilidade

Hoje em dia, é reconhecido que as tecnologias de detecção e comunicação são desenvolvidas o suficiente para serem utilizadas em sistemas avançados de rastreabilidade, embora a sua difusão seja limitada devido aos altos custos de implementação [11]. Entre outros, os custos associados à rastreabilidade podem depender dos regulamentos, do tamanho e da estratégia da empresa, da tecnologia adotada, das características dos produtos, da estrutura e complexidade dos processos de produção e da quantidade de informação a ser armazenada [12]. Devido a esses elevados custos as Pequenas e Médias Empresas (PMEs) costumam utilizar sistemas não digitais, nomeadamente sistemas manuais devido à escala limitada das suas operações, necessidade de elevados investimentos e natureza do processo de fabrico[13]. Nesse contexto, os principais obstáculos à boa implementação de sistemas de rastreabilidade automatizados são [11]:

- Necessidade de investimentos dispendiosos.
- Relutância em mudar o modo de operação.
- Falta de preparação dos colaboradores.

No entanto estes custos pertencem a dois grupos, custos de implementação e manutenção/operação dos sistemas de rastreabilidade, que por sua vez se dividem em seis categorias. Na Tabela 3.1 é apresentado um resumo dessas categorias.

**Tabela 3.1:** Custos dos sistemas de rastreabilidade [12].

Categorias	Implementação	Manutenção/Operação
Tempo e Esforço (dos colaboradores, administração e gestores)	Pesquisa de informação Gestão das mudanças Testes de sistemas	Interrupção das operações Relatórios adicionais
Equipamento e <i>Software</i>	Novos investimentos e instalações	Atualizações e contratos de serviço
Formação e Aprendizagem	Longa e necessária	Em andamento, para novos funcionários
Consultoria exterior	Para a escolha e criação dos sistemas	Para desafios novos e específicos
Materiais	Troca para a utilização de materiais novos	Etiquetas e empacotamento
Certificação e Auditorias	Auditorias iniciais e certificação do sistema	Repetição de auditorias

Contudo estes custos têm retorno económico e do ponto de vista industrial, a implementação de sistemas de rastreabilidade permite uma melhor adaptação às necessidades e exigências de mercado fornecendo às indústrias as seguintes vantagens [9], [10]:

- Os *stocks* de produtos podem ser monitorizados de forma eficiente e em tempo real, permitindo a elaboração de planos de produção mais eficientes.
- A aquisição e expedição de produtos é otimizada podendo levar à implementação de um processo de produção *Just-in-Time*.
- Detecção atempada de defeitos nos produtos e identificação rápida da causa. Os produtos podem ser removidos do processo produtivo antes de passar para outros processos ou serem vendidos.
- A maior quantidade de dados guardados e analisados podem ser utilizados para realizar relatórios de modo a poder aumentar a qualidade do produto.
- A constante informação do processo de produção aumenta a confiança do consumidor no produto.

Em suma o *feedback* em tempo real que as empresas obtêm com os sistemas de informação inerente aos sistemas de rastreabilidade, melhora o fluxo de informação dando origem a um controlo permanente do material presente em todos os processos de produção e a um melhoramento na monitorização dos defeitos de fabrico o que facilita avaliar os seus impactos e origens. É possível também realizar uma supervisão mais detalhada da quantidade de *stock* e da matéria prima existente. As bases de dados criadas com a informação recolhida por este tipo de sistemas aumenta a disponibilidade de dados e melhora as respetivas análises devido à facilidade de acesso recorrendo a interfaces de apresentação eficazes [14].

## 3.2 Indústria 4.0

### 3.2.1 Contextualização Histórica e Conceptual

O primeiro conceito da quarta revolução industrial denominada por indústria 4.0 foi primeiramente introduzido na Alemanha em 2011 como uma diretiva para a digitalização dos vários tipos de indústrias e desde então tem sido um tópico de pesquisa acadêmica e industrial. A indústria 4.0 é um conceito abrangente e tem sido uma nova tendência nos ambientes industriais tendo como base a integração de um conjunto de tecnologias que possibilitam ecossistemas inteligentes, autônomos e fábricas descentralizadas. Estas tecnologias, como por exemplo os sensores de RFID, IoT e ERP, têm o objetivo de atender os requisitos ágeis e dinâmicos da produção de modo a reduzir a complexidade dos processos produtivos, enquanto aumenta a eficácia e a eficiência com a meta de reduzir os custos a longo prazo [15].

Esta digitalização e computorização das empresas é baseada numa rede informática que liga computadores e as tecnologias mencionadas anteriormente que por sua vez geram grandes quantidade de dados criando uma cópia virtual do mundo físico. O acesso a esses dados importantes, beneficia sobretudo a flexibilidade e a produtividade da empresa na qual tudo ao longo do processo de fabrico é transferido para a rede informática onde todas as informações relevantes podem ser trocadas de forma independente e direta entre elos individuais do processo. Vincular colaboradores, produtos e sistemas, onde estão inseridos os sistemas de rastreabilidade, desperta maior dinâmica entre empresas, otimizadas e organizadas em tempo real que favorece o acordo entre as mesmas em diferentes critérios, como por exemplo, custos, disponibilidade e consumo de recursos [16].

### 3.2.2 Tecnologias de Suporte à indústria 4.0

A quarta revolução industrial apoia-se em várias tecnologias inovadoras onde se destacam as seguintes [17], [18]:

- **Internet of Things (IoT):** Este conceito refere-se a um mundo onde existem várias redes informáticas no qual diversos objetos são incorporados com sensores eletrónicos, atuadores ou outros dispositivos digitais, para que possam ser interligados e conectados com o objetivo de retirar e trocar informações acerca do processo e do respetivo produto, permitindo também a comunicação entre esses dispositivos digitais e a base de dados da empresa. Em vários setores da indústria, esta tecnologia proporciona o controlo e automatização da iluminação, aquecimento, maquinaria, aspiradores robóticos e monitorização remota de máquinas e serviços computacionais. Neste momento a IoT é vista como uma convergência maior de tecnologias avançadas, como *data analytics* e *machine learning*.
- **Cyber Physical Systems (CPS):** é um mecanismo através do qual objetos físicos e *software* estão intimamente interligados, permitindo que diferentes componentes interajam entre si de inúmeras maneiras facilitando a troca de informações o que permite um melhor controlo do processo produtivo. Um dos principais métodos técnicos são os

sistemas embutidos, que permitem um relacionamento altamente coordenado e combinado entre objetos físicos e seus elementos ou serviços computacionais. Um sistema CPS ativado, ao contrário de um sistema embutido tradicional, contém interações na rede informática que são projetadas e desenvolvidas com entradas e saídas físicas, juntamente com serviços cibernéticos, como algoritmos de controle e capacidades computacionais. Assim, existe um grande número de sensores importantes presentes nos CPS, por exemplo, vários sensores digitais são amplamente utilizados nos CPS para atingir diferentes objetivos, como ecrãs táteis, sensores luminosos e de força.

- **Cloud Manufacturing:** refere-se a um modelo avançado de produção, com o suporte da *cloud*, IoT, virtualização e tecnologias orientadas a serviços, que transforma recursos de manufatura em serviços que podem ser amplamente partilhados e distribuídos. Neste tipo de tecnologia, vários recursos e capacidades de produção podem ser utilizados e conectados de forma inteligente à *cloud*. Tecnologias como RFID e códigos de barras podem ser usadas para monitorizar e controlar automaticamente esses recursos, para que possam ser digitalizados promovendo a troca de informações e dados. Os dados armazenados na *cloud* ou na base de dados podem-se estender por todo o ciclo de um produto, incluindo *design*, fabrico e manutenção.
- **Information and Communications Technology (ICT):** são tecnologias de informação avançadas que dão prioridade às comunicações unificadas, como mensagens instantâneas, e à integração de telecomunicações, além de outras tecnologias capazes de armazenar, transmitir e manipular dados ou informações. As ICT cobrem uma ampla gama de técnicas de processamento de sinais, como sistemas *Wireless*, *middleware* corporativo e sistemas audiovisuais.

A exploração e conjugação das tecnologias anteriormente descritas dão origem a conceitos tais como [17], [18]:

- **Smart Factory/Manufacturing:** Fábricas mais inteligentes, flexíveis e dinâmicas, equipadas com sensores, atuadores e sistemas autónomos onde as máquinas e equipamentos terão a capacidade de aperfeiçoar o processo de produção através da auto-otimização e da tomada de decisões autónomas, guardando os dados obtidos ao longo do processo em base de dados podendo ser utilizados posteriormente para *machine learning*.
- **Smart Product:** Produtos que contêm micro controladores e sensores, como por exemplo de RFID, que permitem a comunicação entre si e com os colaboradores via IoT através da capacidade de guardar informações em base de dados relacionados com as suas próprias propriedades.

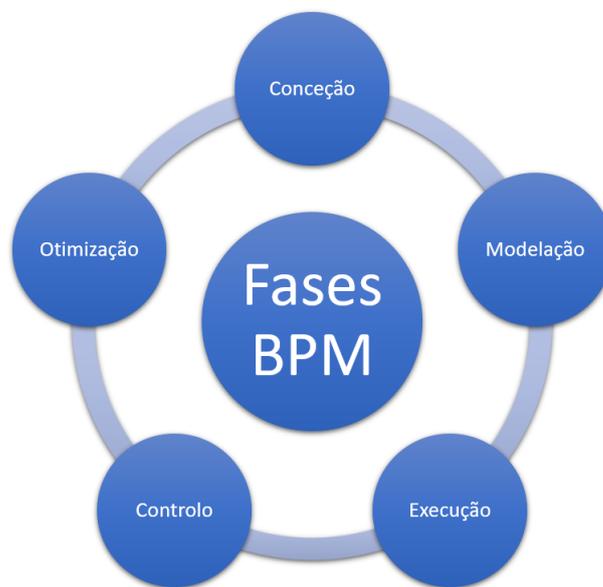
Em suma através da revisão da literatura a indústria 4.0 pode ser definida como um termo coletivo para tecnologias e conceitos que têm impacto no valor do processo produtivo. Dentro das *Smart Factories* estruturadas que já se associaram à Indústria 4.0, o CPS monitoriza os processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico e tomando decisões descentralizadas. Com a IoT, o CPS comunica e coopera com outros sistemas e com os colaboradores em tempo

real [19]. Estes conceitos e tecnologias são cada vez mais importantes na otimização das empresas, adquirindo um papel imprescindível em várias áreas empresariais.

### 3.3 Modelação de Processos

Um processo de negócios representa um conjunto de vários procedimentos ou actividades realizadas segundo ordens predefinidas com a intuição de atingir um objectivo comercial ou estratégico, muita das vezes dentro de um contexto organizacional [20].

A gestão desses processos de negócio normalmente denominada por *Business Process Management* (BPM) é uma abordagem sistemática para a definição, execução, gestão e optimização dos mesmos [21] e pode ser dividida em cinco fases como é possível observar na Figura 3.1.



**Figura 3.1:** Fases BPMs(Adaptado de[22])

É neste contexto da gestão de processos que surgiu o *Business Process Modelling Notation* (BPMN 2.0) que é, actualmente, a mais representativa linguagem de modelação de processos de negócio. Foi criada com essa intuição e com a preocupação principal de ser abrangente e compreendida por todos os que a utilizam e analisam, isto é, desde os profissionais de modelação de processos, implementadores até aos gestores organizacionais e engenheiros de produção, independentemente dos seus níveis de especialização, para que todos possam cumprir as suas tarefas de desenvolvimento, implementação e monitorização de uma forma simples e intuitiva. Esta notação foi publicada pela primeira vez em 2004 pela *Business Process Management Initiative* (BPMI) que a descreveu como uma linguagem gráfica conseguindo representar processos de negócios, e que tinha sido inspirada pelos diagramas de actividade da *Unified Modeling Language* (UML). A notação BPMN 2.0 é também baseada nos moldes principais de fluxogramas, apresentando uma maior variedade de representações. Esta linguagem de modelação tem sido melhorada ao longo dos anos e no presente panorama apresenta um leque

considerável de elementos para representar os diversos detalhes associados aos processos de negócio, permitindo assim definir relacionamentos como os fluxos de actividades, ordens de precedência e desenvolver uma caracterização dos procedimentos que os intervenientes nos processos irão realizar. A notação BPMN 2.0 está baseada em quatro grandes agregados de elementos simbólicos para a representação dos processos [22], [23]:

- **Conectores** - responsáveis por garantir três tipos de conexão entre elementos simbólicos:
  - Fluxo de sequência tradicional.
  - Fluxo de mensagens.
  - Associação de elementos.
- **Objectos de fluxo** - compostos por elementos capazes de representar as acções que estão relacionadas com o processo de negócio e com os seus estados comportamentais, por exemplo eventos, actividades e decisões.
- **Swim lanes**- responsável por agrupar todos os elementos de um *Business Process Modeling Diagram* (BPD), por papéis ou secções de trabalho.
- **Artefactos** - serve para dar mais informações aos processos que não afectam directamente o mesmo, como por exemplo as anotações, grupos e *data objects*.

Os grupos anteriormente mencionados contêm os seguintes elementos principais [22], [23]:

- **Eventos** - ocorrências externas ao processo que podem influenciá-lo.
- **Gateways** - estabelecem a existência ou não de dependências entre as tarefas no fluxo das mesmas.
- **Atividades** - elementos representativos da realização de uma tarefa, que implica a ação de alguém ou algum sistema.
- **Objetos de Conexão** - elementos utilizados para fazer a ligação entre vários símbolos de modo a ser perceptível as interações entre tarefas, eventos e *gateways*.
- **Pool** - elementos que representam processos ou participantes dum processo.
- **Lane** - divisões dentro das *pools* representando áreas ou responsabilidades dentro do processo.

Esta linguagem fornece uma notação gráfica de representação de processos através do BPD e é frequentemente usada pelos analistas durante a fase de especificação de requisitos. De realçar que esta representação visual do sistema utilizando a notação BPMN 2.0 permite detectar com maior facilidade a existência de problemas no sistema e, assim, reduzir erros futuros e reduzir os custos, o que vai de encontro ao conceito da rastreabilidade de matérias primas e produtos [20].

É possível afirmar que a área BPM tem sido nos últimos anos alvo de grande interesse, dadas as suas capacidades e potencialidades para, comprovadamente, garantir melhorias na produtividade das organizações, melhorando assim significativamente a sua sustentabilidade [22].



Figura 3.2: Exemplo de elementos simbólicos da notação BPMN 2.0

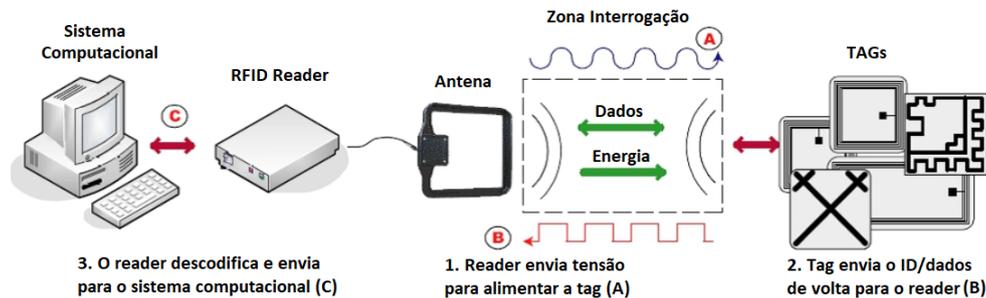
### 3.4 Radio Frequency Identification (RFID)

Um dos alicerces dos sistemas de rastreabilidade são as tecnologias utilizadas para os criar e operar de modo a atingir determinados objetivos. Das tecnologias mais adotadas destacam-se os sensores *Radio Frequency Identification* (RFID) muitas vezes integrados nos sistemas AIDC.

#### 3.4.1 Princípio de Funcionamento

Este tipo de tecnologia é baseada na comunicação por sinais de rádio frequência entre dois dispositivos, leitores de RFID e etiquetas denominadas por *Tags*, associados a um sistema computacional. A *tag* é o elemento que retira as informações em tempo real e as transmite através das ondas de rádio. Normalmente este componente é composto por duas partes, um pequeno *chip* dedicado a guardar e processar a informação e uma antena, responsável pela recepção e transmissão da informação. O *chip*, na maior parte das suas aplicações, é usado para guardar dados acerca de um produto, pessoa ou encomenda, associando-os a um número único de identificação permitindo assim o seu rastreio, dando acesso a informações como hora e data de produção, passagem por um ponto chave da mesma, localização, verificação controlo de qualidade, entre outras [24]. O leitor RFID é um dispositivo que transmite e recebe dados através das ondas de rádio frequência utilizando as antenas conectadas e as suas funções incluem ativar, ler e gravar dados na *tag*. Como é possível observar na Figura 3.3, os sinais enviados pelas antenas do leitor criam uma zona de interrogação composta por um campo electromagnético. Quando a *tag* entra nesta zona, é ativada existindo a troca de dados de identificação com o leitor que os transmite para serem processados por um sistema de *software* denominado por de RFID *middleware*. É este sistema que está encarregue de gerir os *readers*, além de filtrar e formatar os dados provenientes da *tag* para que possam ser acedidos, rastreados e analisados, daí ser um componente chave para gerir o fluxo de informação dentro

de um sistema de RFID semelhante ao representado na Figura 3.3 [25].



**Figura 3.3:** Exemplo de um sistema de RFID - adaptado de [25]

É de salientar que a *tag* e o leitor contém micro processadores que são responsáveis pela comunicação entre os diferentes elementos dos dispositivos constituintes dos sistemas de RFID, tais como as antenas e memórias [26]. O micro processador da *tag* faz também, a interpretação dos pedidos enviados pelo leitor que podem ser de leitura (*read*) ou escrita (*write*), isto é, o micro processador acede à memória da *tag* e consoante o pedido, lê ou escreve numa posição estabelecida pelo leitor. A leitura faz com que a *tag* transmita dados para o leitor enquanto a escrita é normalmente seguida de uma leitura de modo a garantir que os dados são bem gravados na memória [10].

### 3.4.2 Tipologia das *Tags*

Como referido anteriormente, as *tags* são constituídas por um chip e uma antena, que dependendo das funcionalidades pretendidas para o sistema de RFID podem ter uma das seguintes três tipologias [25], [26]:

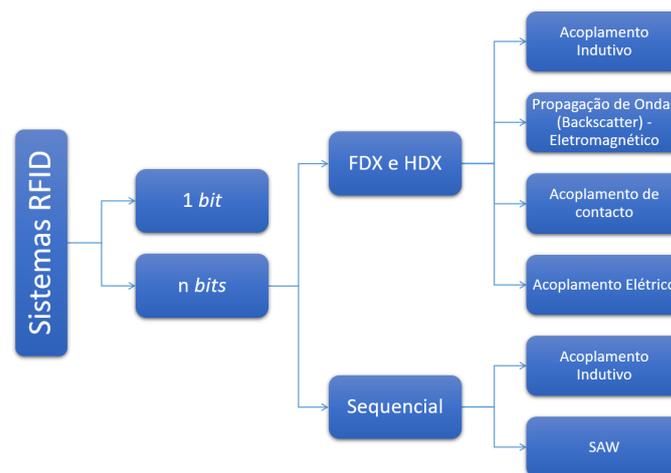
- **Passivas** são *tags* que não têm nos seus componentes uma fonte de energia, como uma bateria, e por conseqüente ligam-se através das ondas de rádio frequência emitidas pelo leitor. Estas são recebidas pela antena e transformadas em corrente elétrica, fornecendo assim a energia necessária para ativar a *tag* e gerar uma resposta com o auxílio do *chip*, posteriormente lida pela antena do leitor de RFID. O alcance destas *tags* é de 3 a 6 metros em condições perfeitas e têm um custo de produção pequeno o que dá origem a um custo de implementação também baixo. As *tags* passivas têm a vantagem de conseguir operar com frequências baixas, altas, ultra altas e de microondas.
- **Ativas** estas *tags* contêm na sua constituição uma fonte de energia embutida e um transmissor, além da antena e do *chip* que normalmente é uma bateria ou uma célula solar. Tipicamente têm capacidades de leitura e escrita no leitor o que faz com que seja possível reescrever ou modificar dados na *tag*. Com a adição da fonte de energia as *tags* ativas, ao contrário das passivas, conseguem iniciar a comunicação com o leitor e exerce-la em maiores distâncias que podem ir até 220 metros dependendo da capacidade da bateria, já que o campo magnético ou electromagnético recebido pelo leitor deixa de ser necessário para alimentar o *chip*. Esta potencialidade faz com que o campo

possa ser mais fraco do que o campo requerido nas *tags* passivas daí o aumento do alcance da comunicação, subentendendo que a *tag* consegue detetar o sinal mais fraco proveniente do leitor. A presença de um transmissor possibilita a transmissão de dados a cada segundo para qualquer leitor que esteja dentro do alcance. Como o número de componentes deste tipo de *tags* aumenta em relação ao anterior, as mesmas tornam-se mais caras e a sua utilização, dadas as suas características, fica reservada para produtos ou objetos mais caros, onde seja preciso tirar partido da leitura a maior distância, como por exemplo contentores de carga.

- **Semi-passivas** à semelhança das *tags* ativas, as *tags* semi-passivas também possuem uma fonte de energia própria contudo não conseguem iniciar autonomamente a comunicação com o leitor o que significa que precisam do campo electromagnético gerado pelo leitor para serem ativadas. A bateria no caso destas *tags* providencia a possibilidade de utilizar a energia fornecida pela bateria em diferenciadas funções como monitorizar as condições ambientais e dar energia aos restantes componentes eletrónicos internos da *tag*. Estas *tags* não conseguem atuar como transmissores logo não enviam sinais para o leitor contudo podem ser conectadas com sensores para guardar informações. Em relação ao custo e alcance de comunicação são ambos inferiores às *tags* ativas mas superiores às passivas.

### 3.4.3 Métodos de comunicação

A comunicação existente nos sistemas de RFID, mais especificamente, entre a *tag* e o leitor de RFID pode ser estabelecida através de várias metodologias. Atualmente existem *tags* de um *bit* e *tags* que contêm um número considerável de bytes de memória (*tags* com  $n$  *bits*) que são o futuro da tecnologia de RFID [27].



**Figura 3.4:** Tipologia dos Sistemas de RFID - adaptado de [26].

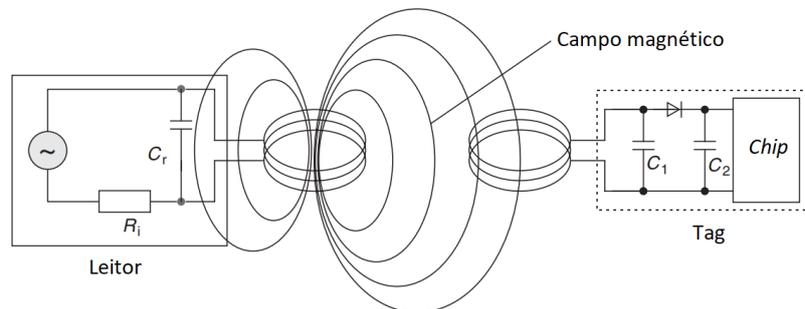
Através da Figura 3.4 é possível observar que os sistemas de RFID que utilizam *tags* com  $n$  *bits* podem operar de acordo com um dos dois procedimentos: *Half-Duplex* (HDX) e *Full-Duplex* (FDX), e Sequencial (SEQ). No procedimento HDX os dados são transmitidos

da *tag* para o leitor alternadamente com os dados que percorrem o caminho inverso, enquanto que na presença de um sistema FDX os dados enviados da *tag* para o leitor são transmitidos em simultâneo com os que são recebidos pela *tag*. No entanto, em ambos os procedimentos a transferência de energia do leitor para a *tag* é contínua, ou seja, é independente da direção do fluxo de dados. Nos sistemas SEQ a energia fornecida à *tag* quando se procede ao envio de dados do leitor para a *tag*. Os procedimentos HDX e FDX são suportados pelos seguintes quatro métodos de comunicação [26]:

- **Acoplamento Indutivo** baseado na lei de Faraday (3.1), neste tipo de acoplamento o enrolamento indutivo presente no leitor de RFID gera um campo electromagnético captado pela *tag* quando esta se aproxima do mesmo. O fluxo magnético cria tensão na bobina da *tag* gerando assim corrente suficiente para alimentar o *microchip* e, como na maioria dos casos este método está associado a *tags* passivas, iniciam-se assim as transferências de dados.

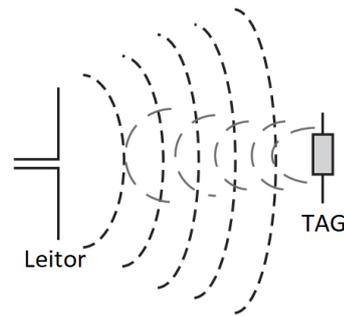
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (3.1)$$

O alcance da comunicação através do acoplamento indutivo vai até 1 metro e a frequência mais associada a este tipo de comunicação é 13.56 MHz. A Figura 3.5 representa um sistema de RFID com acoplamento indutivo.



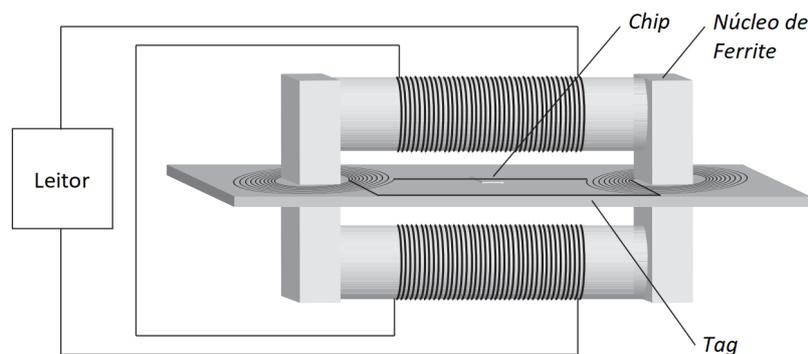
**Figura 3.5:** Acoplamento Indutivo - adaptado de [26]

- **Acoplamento por Propagação de Ondas - Backscatter** este tipo de acoplamento apoia-se no uso de ondas eletromagnéticas para realizar a comunicação entre a *tag* e o leitor. Este, cria um campo eletromagnético que quando detetado pela *tag*, uma fração do mesmo é refletido e posteriormente captado novamente pelo leitor de RFID. Essa reflexão é responsável por transmitir dados da *tag* para o leitor, e para realizar essa transmissão, é conectada uma resistência em paralelo à antena da *tag* que é ligada e desligada de acordo com o fluxo de dados a ser transmitido. Estes sistemas operam com frequências *Ultra High Frequency* (UHF), mais precisamente 868 MHz na Europa e 915 MHz nos Estados Unidos da América, e com frequências micro ondas de 2.5 e 5.8 GHz. A Figura 3.6 representa um sistema de RFID com acoplamento por propagação de ondas.
- **Acoplamento de Contacto (*Close Coupling*)** sistemas com este modo de acoplamento são desenhados para alcances desde 0.1 cm e até no máximo 1 cm, o que limita as suas aplicações. O funcionamento deste tipo de acoplamento passa pela criação de



**Figura 3.6:** Acoplamento por Propagação de Ondas (Backscatter) - adaptado de [28]

um campo magnético através de uma corrente alternada de alta frequência gerada no leitor, que possui um núcleo de ferrite com duas bobinas. Quando a *tag* é inserida ou colocada perto do leitor, o campo magnético cria uma corrente na bobina da *tag* que após ser retificada passa a ser a fonte de alimentação do chip da *tag*. A Figura 3.7 é um exemplo do funcionamento de um sistema com acoplamento de contacto.



**Figura 3.7:** Acoplamento de Contacto - adaptado de [26]

Este tipo de sistemas são maioritariamente utilizados em cartões de acesso.

#### 3.4.4 Armazenamento de dados

As *tags* utilizadas nos sistemas de RFID com o intuito de armazenar dados e informações relativas a determinados produtos ou objetos, podem ser organizadas nos seguintes três grupos [25], [26]:

- **Apenas de Leitura (*read-only*)** com este tipo de memória as *tags* só podem ser lidas, sendo programadas uma única vez, mantendo-se inalteráveis ao longo de toda a sua utilização. Tipicamente têm uma capacidade de memória inferior a 64 *bits* e são usadas para guardar principalmente informações de identificação do produto.
- **Leitura e Escrita (*read-write*)** além de armazenarem dados, as *tags* ao recorrer a estas memórias, têm a competência de poderem ser atualizadas sempre que necessário. Consequentemente, estas memórias contêm uma capacidade de armazenamento maior em comparação às memórias *read-only*, o que as eleva para um custo superior. As

memórias *read-write* surgem quando existe a necessidade de alterar dados ao longo do processo de produção de um produto e apresentam três classes para gerir e armazenar dados:

- ***Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM)*** é um tipo de memória não volátil normalmente usada para guardar pequenas quantidade de dados prioritários, de modo a que se falhar a fonte de alimentação não sejam perdidos. É o procedimento mais dominante em muitos sistemas de RFID contudo tem como desvantagens o elevado consumo de energia, a grande duração da operação de escrita e o número limitado de ciclos de escrita.
- ***Ferromagnetic Random Access Memory (FRAM)*** muito semelhante à anterior mas com consumos mais baixos cerca de 100 vezes e tempos de escrita 1000 vezes mais rápidos. De momento problemas no fabrico desta tecnologia afetaram e dificultaram a ampla introdução desta tecnologia no mercado.
- ***Static Random Access Memory (SRAM)*** são utilizadas para armazenar dados em sistemas suportados por micro ondas, o que providencia uma maior velocidade de escrita diminuindo o tempo da mesma. A desvantagem deste tipo de memórias é que o armazenamento dos dados requer uma fonte de energia ininterrupta.
- ***Write Once Read Many (WORM)*** ao usar este tipo de armazenamento as *tags* permitem guardar dados uma única vez, sem a possibilidade de os atualizar mas têm a potencialidade de serem lidos várias vezes. Esta vertente das *tags* fornece a segurança de uma *tag read-only* enquanto acrescenta a funcionalidade de uma *tag read-write*.

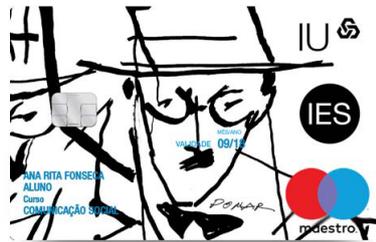
#### 3.4.5 Formato exterior das *Tags*

As *tags* utilizadas nos sistemas de RFID podem ter formatos e dimensões variadas consoante o objetivo definido para o sistema e a forma da antena imbutida nas *tags*. Os formatos mais comuns são [26]:

- **Disco/Moeda** - é o formato mais comum, consiste numa *tag* em forma de moeda normalmente moldada por injeção, com um diâmetro que pode variar de milímetros até 10 centímetros. Geralmente têm um orifício no centro para um parafuso de fixação. Na Figura 3.8 é possível compreender este tipo de formato.
- **ID-1 (*Contactless Smart Card*)** - este tipo de formato é conhecido por ser utilizado em cartões de crédito, de identidade, de acesso, entre outros. Os cartões inteligentes sem contato são produzidos através da incorporação de uma *tag* de RFID entre quatro unidades de folhas PVC e geralmente têm 85.46 mm de comprimento, 53.92 mm de largura e 0.76 mm de espessura. A Figura-3.9 ilustra um exemplo de um cartão de identificação da Universidade de Aveiro que tem incorporada uma *tag* de RFID.
- ***Smart Label (Etiquetas Inteligentes)*** - em *tags* deste formato, a bobina da *tag* é aplicada numa folha de plástico com apenas 0.1 milímetros de espessura por gravação. Esta folha é geralmente laminada com uma camada de papel e o verso é revestido com



**Figura 3.8:** *Tags: Formato disco.*



**Figura 3.9:** *Tags: Contactless Smart Card.*

adesivo. Estas *tags* são fornecidas na forma de adesivos enrolados num rolo e devido a serem finos e flexíveis são normalmente presos a bagagens, pacotes e mercadorias de todos os tipos. Uma vez que estas etiquetas podem ser facilmente sobrepostas, é simples vincular também, os dados armazenados, a um código de barras impresso na etiqueta. Na Figura 3.10 é apresentado um rolo de *smart labels*.



**Figura 3.10:** *Tags: Smart Label.*

### 3.4.6 Frequências de funcionamento

Os sistemas de RFID usam várias frequências para efetuar a comunicação, que se podem dividir em quatro grupos [25], [26], [29]:

- **Baixa Frequência (*Low Frequency (LF)*)** são frequências que podem variar desde 30 kHz até 300 kHz contudo, normalmente, nos sistemas de RFID LF as frequências utilizadas situam-se entre 125kHz e 134 kHz. As *tags* que operam com baixas frequências tipicamente estão associadas ao acoplamento indutivo, ao acoplamento de contacto e a sistemas que não requerem uma velocidade de leitura elevada, como por exemplo sistemas que utilizem *tags* passivas. A maioria dos sistemas de baixa frequência trabalham sem a necessidade da existência de uma bateria integrada nas *tags*, tem um alcance baixo e baixo custo tendo como algumas das suas aplicações o rastreio e identificação de animais e controlo de acessos.
- **Alta Frequência (*High Frequency (HF)*)** frequências que operam com valores entre 3 MHz e 30 MHz, sendo 13.56 MHz a frequência mais comum em sistemas deste tipo. Estas frequências estão associadas ao acoplamento indutivo e às *tags* passivas contudo demonstram algumas fragilidades na transmissão de dados em objetos metálicos e na presença de líquidos. Em relação aos custos, as *tags* de alta frequência são mais baratas quando comparadas às de baixa frequência, sendo também usadas no controlo de acessos bem como em cartões inteligentes. O intervalo de frequências correspondente à alta frequência é aceite e utilizado pelo mundo inteiro.
- **Ultra-Alta Frequência (*UHF*)** os sistemas de ultra-alta frequência funcionam com frequências desde 300 MHz e 1000 MHz (1GHz) e na Europa a frequência típica usada num sistema de RFID passivo é 868 MHz e num ativo é 433 MHz estando normalmente associadas ao acoplamento por propagação de ondas (*Backscatter*). Estas frequências por um lado oferecem maior alcance e velocidade de transmissão em relação aos grupos de frequências anteriores, no entanto, apresentam a desvantagem de existirem diferentes regulações dependendo da região e país onde são integradas. A Figura 3.11 demonstra a diversidade dos intervalos da ultra-alta frequência consoante o país ou região.
- **Micro Ondas** gama de frequências superiores a 1 GHz, sendo 2.45 GHz a frequência dominante e aceite neste tipo de sistemas a nível mundial. Tal como as UHF, as micro ondas são associadas com o acoplamento por propagação de ondas (*Backscatter*) e a distância de leitura é semelhante à proporcionada pelos sistemas com frequências de funcionamento UHF. As frequências de tipo apresentam a taxa de transmissão de dados mais elevada de entre as restantes.

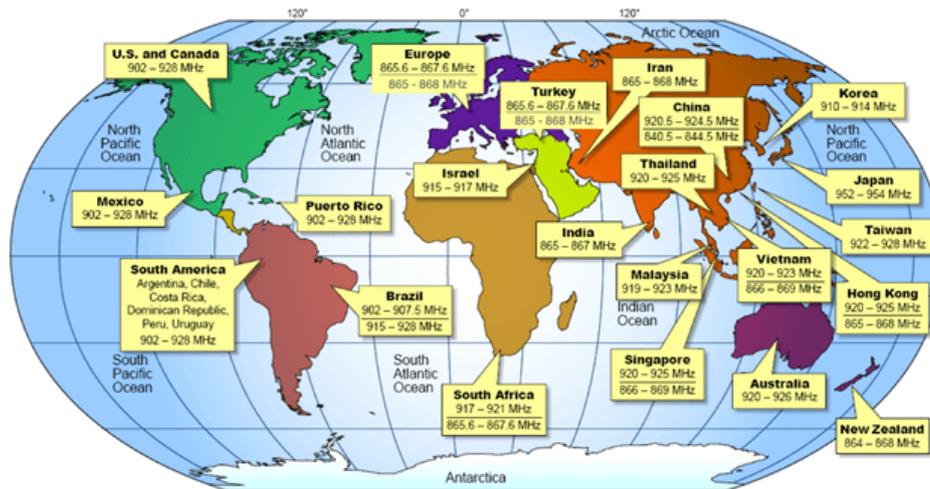


Figura 3.11: Intervalos de frequências UHF utilizados e aceites nas diferentes regiões do mundo.

### 3.4.7 Middleware

De modo a maximizar os benefícios dos sistemas de RFID, é necessário encontrar uma forma de incorporar a informação e os dados obtidos com o processo de tomada de decisões. Assim, a integração dos mesmos nos sistemas de *Information Technology* (IT) das empresas é essencial para melhorar os processos produtivos e a eficiência empresarial e organizacional. Esse é o propósito da existência de uma camada intermédia dos sistemas de RFID, o *middleware* [28].

O *middleware* é um conjunto de *softwares* ou dispositivos que conectam os leitores de RFID e os respetivos dados que recolhem, ao sistema de IT da empresa, isto é, o *middleware* ajuda a compreender as leituras das *tags*, filtra, formata e conjuga os dados capturados pelos vários leitores de RFID e por fim fornece esses dados processados aos utilizadores e analistas através de interfaces gráficas [25]. Este é responsável pela qualidade e, em última instância, pela usabilidade da informação produzida pelos sistemas de RFID [28].

Assim podem ser identificadas quatro funções principais do *middleware* [28]:

- **Recolha de dados** - é responsável pela extração, conjugação e filtragem de dados de vários leitores de RFID.
- **Encaminhamento de dados** - direciona os dados para os sistemas empresariais apropriados.
- **Gestão de processos** - accionamento de eventos baseados em regras de negócio pré estabelecidas.
- **Gestão de dispositivos** - monitoriza e coordena os leitores de RFID.

### 3.4.8 EPCglobal

Em 1999, um grupo de produtores e distribuidores identificou o potencial da tecnologia RFID como um complemento e eventualmente como tecnologia sucessora dos Códigos de Barras. Devido aos elevados custos de implementação e incompatibilidade dos sistemas RFID que estavam a ser utilizados, não havia uma adesão massiva desta tecnologia. Assim sendo,

era imperativo financiar pesquisas que foram desenvolvidas por várias universidades de vários continentes, formando o *Auto-ID Center*. Estas investigações foram financiadas não só pela GS1 mas também por inúmeras empresas Europeias, Americanas e Asiáticas, de todas as dimensões, pertencentes aos setores de *Fast-moving consumer goods* (FMCG), retalho, farmacêutico, telecomunicações, IT (*Software* e *Hardware*) e construção. Foi a partir dessas pesquisas que surgiu a GS1 EPCglobal que é responsável por controlar a adesão global da tecnologia EPC, através de Normas abertas de adesão voluntária, para a GS1 EPCglobal Network [30].

O EPCglobal tem como objetivo a normalização na identificação eletrónica de produtos e foi nesse sentido que criou o EPC. Este código é um número único e inequívoco utilizado para identificar um objeto específico que é guardado numa *TAG* e quando lido por um leitor, as informações associadas ao mesmo (origem, data de produção, número de lote, entre outros) disponíveis numa base de dados.

Na Figura 3.12 é apresentado um exemplo de um processo de adaptação de um código de barras representativo de um *Global Trade Item Number* (GTIN) para um EPC, neste caso para um *Serialized Global Trade Item Number* (SGTIN). Os primeiros dígitos do código representam o prefixo da empresa, atribuído pela sucursal local da GS1 a uma determinada empresa, idêntico ao usado no código de barras. O dígito seguinte no SGTIN é igual ao do GTIN, só muda de localização. O número de referência que identifica a classe do produto. Este pode ser diferente no EPC devido à possibilidade do mesmo poder ter vários tamanhos no GTIN, por essa razão a EPCglobal tem a intenção de que seja seguida uma normal geral para a criação do número de referência. Os restantes dígitos correspondem ao número de série, que é atribuído pelo fabricante, permitindo rastrear cada produto individualmente. O número de série, segundo a GS1, pode ser formado pelo fabricante sem qualquer restrição [10], [30].



**Figura 3.12:** Exmeplo de um EPC, adaptado de [30].

Para além de poderem ser atribuídos a qualquer nível dos produtos de grande consumo, ou seja, ao objecto, caixa, palete ou contentor, o EPC pode ser atribuído a qualquer outro tipo de objecto para identificar, por exemplo: activos retornáveis (paletes, grades, barris, entre outros); para verificação de bagagem; como garantia dos produtos electrónicos e necessidades de serviços; para manter os registos dos activos fixos, localização de cada medicamento ou qualquer outro objecto tangível [30].

### 3.4.8.1 GS1 EPCglobal Network

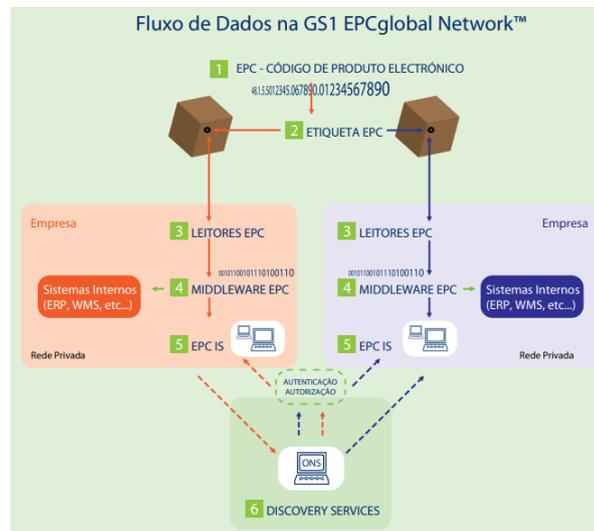
A GS1 EPCglobal Network representa um conjunto de tecnologias que permite a identificação imediata de objetos ao longo do seu processo produtivo e torna possível a troca de informações em tempo real entre parceiros comerciais sobre os objectos que estão a ser comercializados, independentemente de onde estejam. Consequentemente, a GS1 EPCglobal Network torna as organizações mais eficientes pela redução de problemas como a contrafacção, furtos internos e a ineficiência com impactos na produtividade e na rentabilidade. Para a elaboração destes sistemas são necessários os seguintes componentes [30]:

1. **EPC** - Código eletrónico do produto.
2. **TAG EPC** - *TAG* que contém o código EPC identificativo do produto.
3. **Leitor EPC** - dispositivos que lêem a *TAG* EPC colocados em pontos específicos para localizar e registar a movimentação dos objectos.
4. **Middleware EPC** - software que alerta e gere a informação da comunicação *EPC Information Services* (EPCIS) com os sistemas de informação existentes nas empresas ou, caso exista, com o ERP das mesmas.
5. **EPCIS** - Norma GS1 EPCglobal que regula a partilha de dados relativos a um EPC entre parceiros comerciais.
6. **Discovery Services** - conjunto de serviços de pesquisa que permitem aos utilizadores encontrarem determinada informação acerca de um determinado EPC e solicitarem o acesso a essa informação através do *Object Name Service* (ONS).

O funcionamento da GS1 EPCglobal Network utiliza a tecnologia RFID como base do sistema permitindo uma visibilidade completa da informação sobre os produtos ao longo da Cadeia de Valor. Primeiramente o EPC é registado numa *tag* colocada em cada embalagem, caixa ou palete de objetos. A partir desse momento a *tag* está em condições para efetuar o envio do seu EPC aos leitores que posteriormente o reencaminham para um computador para aceder, através do EPCIS ao ONS. O ONS pode ser descrito como um serviço de pesquisa que tem como *input* um EPC e devolve um *output* que está ligado (sob a forma de um *Uniform Resource Locator* (URL)) ao repositório EPCIS, do proprietário da informação do EPC em questão. É também o ONS que indica ao sistema de informação do utilizador onde pode localizar na GS1 EPCglobal Network a informação sobre o produto referente ao dito EPC, inclusive, por exemplo, onde e quando este foi produzido. O EPCIS, para além de guardar as informações dos produtos, oferece os meios de comunicação que os parceiros comerciais devem utilizar para armazenar, aceder e comunicar os dados referentes aos objectos movimentados na Cadeia de Valor. Já o *Middleware EPC* é o *software* que atua como pilar central da GS1 EPCglobal Network, devido a ser a peça que gere e movimenta a informação para que não haja sobrecarga das redes existentes [30].

Na Figura 3.13 são apresentados os componentes e a interação existente num sistema da GS1 EPCglobal Network anteriormente descrito. Como é possível observar, é atribuída uma *tag* com determinado EPC que é detetada por várias empresas, registando as informações importantes nos seus sistemas internos. No caso de uma das empresas precisar de obter mais

dados relativos a um EPC, o ONS é responsável por recolher os dados presentes em outras empresas sobre o produto em questão, devolvendo esses dados ao EPCIS da empresa que solicitou a pesquisa.



**Figura 3.13:** Arquitetura de um sistema da GS1 EPCglobal *Network*, adaptado de [30].

### 3.4.9 Aplicações

Os sistemas de RFID são uma tecnologia emergente na indústria que tem um grande sucesso quando aplicada nas gestão de cadeias de abastecimento, dos processos de produção e da logística empresarial, contudo o seu leque de aplicações vai muito além dessas áreas. Existe um grande potencial em redor deste tipo de tecnologias e um número crescente de empresas já deu início ou concretizou com sucesso projetos baseados em sistemas de RFID [31]. De seguida apresentam-se algumas das áreas industriais onde estes sistemas são muitas vezes implementados [24], [29], [31]:

- Identificação Animal
- Aviação
- Tecidos e roupas
- Alimentar
- Saúde
- Bibliotecas e Livrarias
- Distribuição
- Retalho

Na maior parte das áreas empresariais mencionadas anteriormente os sistemas de RFID estão associados às seguintes funções [24]:

- Identificação
- Localização
- Acessibilidade
- Gestão de *Stock*
- Gestão de Inventários
- Organização de Inventários
- Pagamentos Eletrónicos
- Sistemas Anti-Roubo

Alimentada pelo rápido desenvolvimento da tecnologia de RFID dos produtos disponíveis, a gama de aplicações está em contínua expansão. Algumas já se demonstram maduras, sendo

usadas comercialmente, outras são promissoras e estão actualmente na etapa de protótipo dependentes de resultados e investimentos.

#### 3.4.10 Vantagens e limitações da tecnologia de RFID

As aplicações mencionadas anteriormente estão relacionadas com as vantagens que estes sistemas proporcionam às empresas. Já foram referidas algumas vantagens ao longo da descrição deste tipo de tecnologia contudo é possível realçar algumas das mais importantes, sendo estas apresentadas de seguida [24], [26], [29]:

- A possibilidade dos dados serem reescritos, lidos e atualizados um grande número de vezes.
- Variados intervalos de alcance de leitura.
- A *tag* pode ser lida sem qualquer contacto físico entre a etiqueta e o leitor.
- Elevada capacidade de memória.
- As *tags* utilizadas sustentam condições ambientais operacionais adversas, isto é, são consideradas robustas.
- A potencialidade de usar um leitor de RFID para ler automaticamente várias etiquetas de RFID presentes na sua zona de leitura num curto período de tempo.
- Não é necessário que se estabeleça contacto visual entre a *tag* e o leitor.

Contudo esta tecnologia também tem limitações associadas [24], [26], [29]:

- O baixo desempenho na transmissão de dados quando as *tags* são utilizadas com materiais que interferem com o campo RF criado pelo leitor.
- São sistemas que ainda são mais dispendiosos que os sistemas baseados em códigos de barras.
- Embora RFID não precise de linha de visão, há um limite de profundidade que a energia das Rádio-Frequência (RF) pode alcançar através de certos materiais e objetos.
- Dificuldade na adoção de somente uma Norma devido há quantidade de acoplamentos, frequências, *tags* e leitores que podem ser utilizados num sistema de RFID o que desencadeia a existência de várias Normas para cada tipo de sistema RFID.

Em suma a tecnologia de RFID permite o rastreio de informação essencial acerca de produtos enquanto estes são produzidos, utilizados ou inseridos em cadeias de abastecimento nas várias áreas empresariais. Esta versatilidade demonstra a importância destes sistemas, que acabam por suportar, muitas das vezes, a logística e os processos produtivos das empresas. O fluxo de dados criado tem como objetivo providenciar informações em tempo real, aos fornecedores, produtores, distribuidores e revendedores de modo a melhorar a eficiência das empresas aumentando a competitividade das mesmas [24].

### 3.5 *Node-Red*

Desenvolvida pela *IBM Emerging Technologies*, fazendo agora parte da *JS Foundation*, o *Node-Red* é uma ferramenta de programação baseada em *flows* que possibilita e facilita a conexão entre dispositivos eletrónicos e serviços *Web* [32].

Inventada por *J. Paul Morrison* durante a década de 70, a programação baseada em *flows* pode ser descrita como uma rede de caixas que no *Node-Red* são denominadas por nós (*nodes*) programáveis e conectados de acordo com o que é pretendido. Assim o funcionamento desta ferramenta passa por conectar e programar os *nodes* com finalidades pré definidas, isto é, num *node* entra uma certa informação, esta é processada, de acordo com o código que o *node* contém (geralmente *JavaScript* no caso específico do *Node-Red*) e o resultado desse processamento é encaminhado para outros *nodes*. A informação que passa de um *node* para outro apoia-se na notação de objetos do *JavaScript* - *JSON*. Esta notação determina que a informação é incluída num objeto denominado *msg* onde a propriedade *payload* contém o seu conteúdo, por exemplo uma *string* ou um *array*. Desta forma o *Node-Red* tem a vantagem de permitir uma melhor visualização da estrutura do programa que torna esta ferramenta mais acessível a uma gama mais ampla de utilizadores [32]. Na Figura 3.14 é apresentado um exemplo de uma *flow* de *Node-Red* com vários tipos de *nodes*, aberta e editável num *browser*.

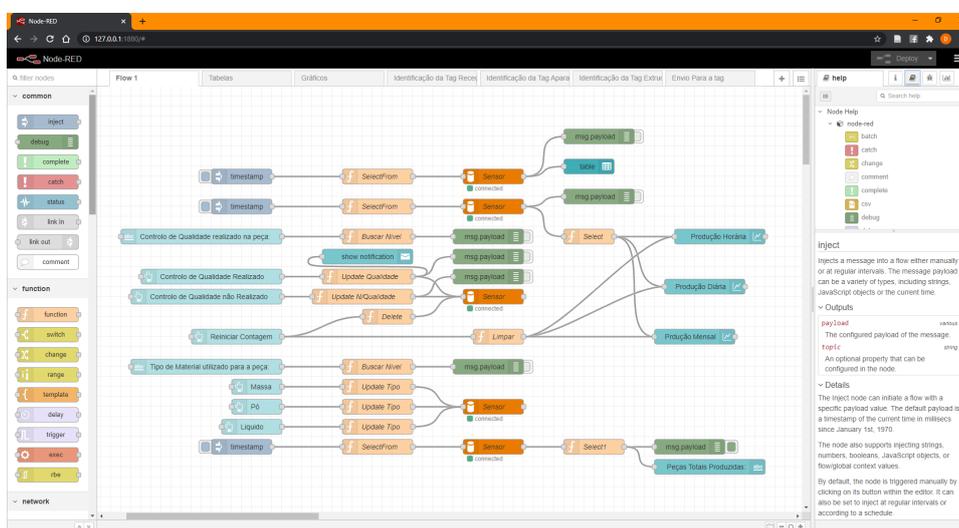


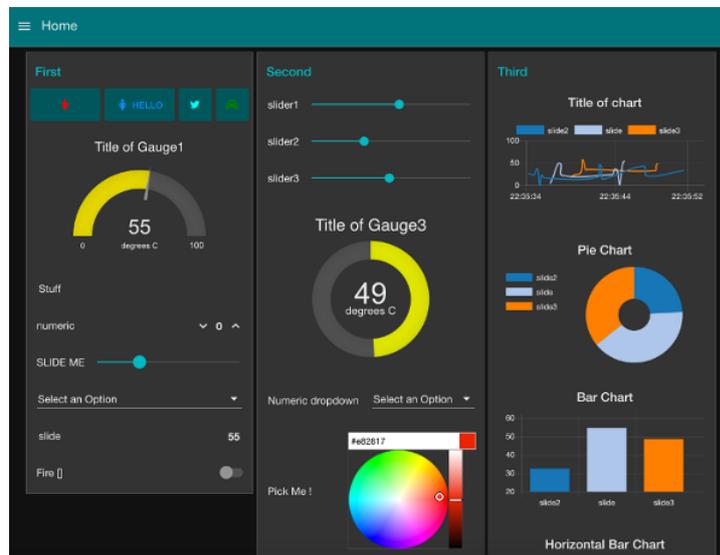
Figura 3.14: Exemplo de uma *flow* do *Node-Red* aberta num *browser*.

Em termos de funcionamento o *Node-Red* corre em cima do *Node JS* e os *nodes* existentes para utilização são criados pelos autores do *Node-Red* ou pela comunidade, e partilhados de forma gratuita. As *flows*, como foi mencionado anteriormente, contém os *nodes* e podem ser partilhadas entre utilizadores através da exportação para um ficheiro *JSON* e depois importado no editor de qualquer outro utilizador em qualquer *browser*[32].

Dentro da biblioteca do *Node-Red* existe uma grande variedade de *nodes* que podem ir desde blocos de funções em *JavaScript*, com o objetivo de dividir ou juntar *strings*, até estabelecer comunicações com base de dados (*MySQL*) e *PLCs* ou enviar *e-mails*.

De destacar o grupo de *nodes* da *dashboard Node-Red* que cria uma interface gráfica *web* onde é possível apresentar variadas informações recorrendo a diversos elementos gráficos, como *gauges*, tabelas e gráficos. Também é possível adicionar botões, formulários e *sliders* que podem ser associados a várias ações de controlo e monitorização. Todos estes elementos são *nodes* e basta conectá-los a outros para definir de onde vem ou para onde vai a informação [33].

Um exemplo de uma interface criada com o auxílio do *dashboard* pode ser observada na Figura 3.15.



**Figura 3.15:** Exemplo de uma interface utilizando o *dashboard* do *Node-Red*. Adaptado de [33].

## 3.6 Soluções apresentadas por outros autores

### 3.6.1 Integração de Sistemas de Rastreabilidade em Ambiente Industrial

A solução proposta neste projeto consiste na integração de dois tipos diferentes de leitores de RFID. Para os integrar está responsável o micro-controlador (Unidade de Processamento (UP)) que faz a gestão das mensagens trocadas entre os leitores e o computador local, onde foi criada uma aplicação para o controlo dos leitores e realizar a interação com a base de dados. Neste sistema, visa-se associar ao produto uma etiqueta nova, mantendo a etiqueta que ele já possui, e transferindo a informação duma para a outra.

Como se pode ver na Figura 3.16 o sistema é composto por quatro leitores de RFID, dois Sparkfun SM130 que comunicam através de *Inter-Integrated Circuit* (I2C)-bus com o micro-controlador e fazem uso da norma Organização Internacional de Normalização (ISO) 14443A e dois leitores Contrinex que comunicam através de RS485 e fazem uso da norma ISO 15693. A informação retirada pelos quatro leitores é processada por um micro-controlador que reencaminha a informação obtida para um servidor. Depois da informação estar no servidor é transferida para uma base de dados, e para uma visualização mais ergonómica da informação, é posteriormente transmitida aos colaboradores através de uma interface gráfica criada.

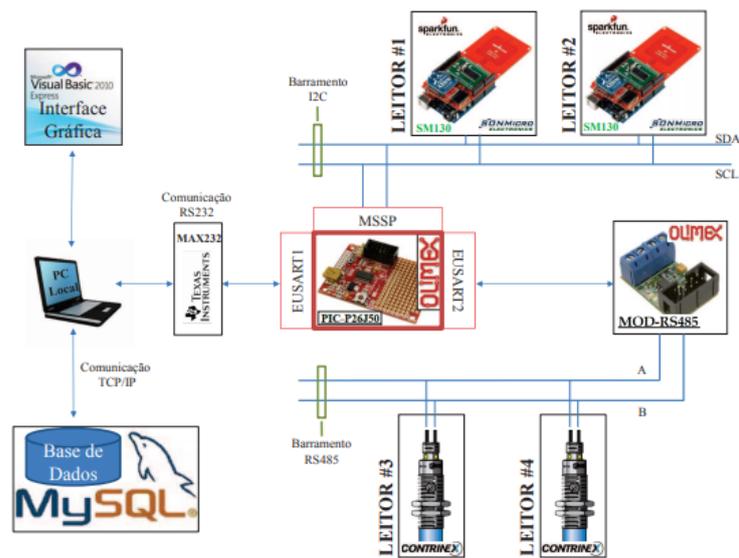


Figura 3.16: Arquitectura do sistema proposto por Bártolo [27]

### 3.6.2 Proposta de um sistema automático de rastreabilidade, na indústria 4.0

A solução proposta neste projeto baseia-se na implementação de um sistema de rastreabilidade flexível, utilizando quatro leitores de RFID para rastrear a produção de cárter numa linha de fabrico.

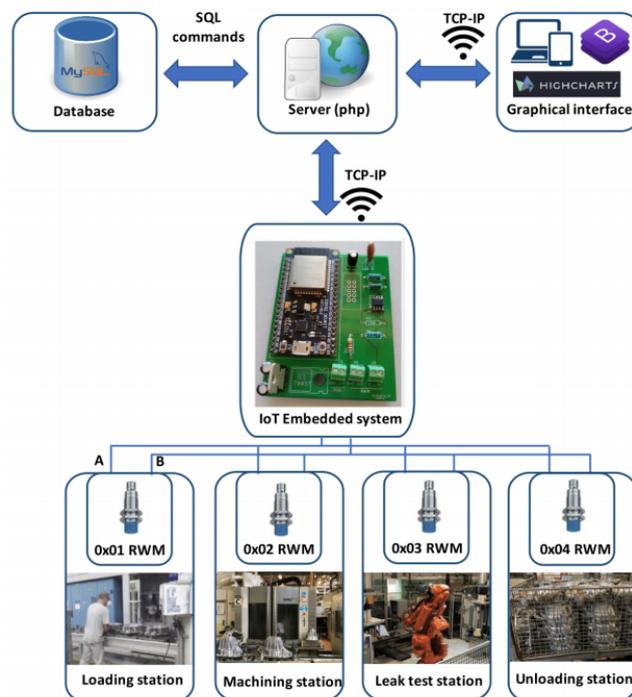


Figura 3.17: Arquitectura do sistema proposto por Rocha [10]

Como é possível observar na imagem o sistema consiste em três camadas. A primeira é

formada pelos leitores de RFID, a segunda é constituída por um módulo IoT ESP32 (unidade de processamento) e a terceira camada composta pelo servidor que comunicava por Wi-Fi com o ESP32. O sistema funcionava da seguinte forma: os leitores verificavam continuamente a presença de uma etiqueta de RFID e se detetassem essa etiqueta era enviado à unidade de processamento que seria responsável por enviar e ler informação relevante à produção do carácter em questão para a etiqueta correspondente. Ao mesmo tempo, o ESP32 envia esta informação para um servidor por Wi-Fi que tanto recebe como envia informações e mensagens da base de dados. Posteriormente foi desenvolvida uma *interface* gráfica utilizando várias linguagens *web* de modo a visualizar e alterar mais facilmente a informação.

### 3.6.3 A Cyber-physical System Architecture in Shop Floor for Intelligent Manufacturing (2016)

A solução proposta nesta artigo centra-se num sistema ciber-físico com o objetivo de realizar produção inteligente em ambiente industrial. Tal como as propostas anteriores também nesta temos três camadas. A primeira consiste numa série de sensores e leitores RFID que fornecem uma séria de dados relativamente à produção em tempo real. A camada intermédia (*middleware*) visa receber estes dados e transmiti-los para o servidor, ao mesmo tempo que recebe comandos da terceira camada, a camada computacional, atuando sobre os controladores dos equipamentos da linha de produção. Assim, a camada computacional é responsável por receber informações dos sensores e leitores e aplicá-la em algoritmos e modelos específicos, retirando padrões das condições e processos de produção dos equipamentos e atuar nestes com base neles, seja ao nível de controlo como ao nível de manutenção.

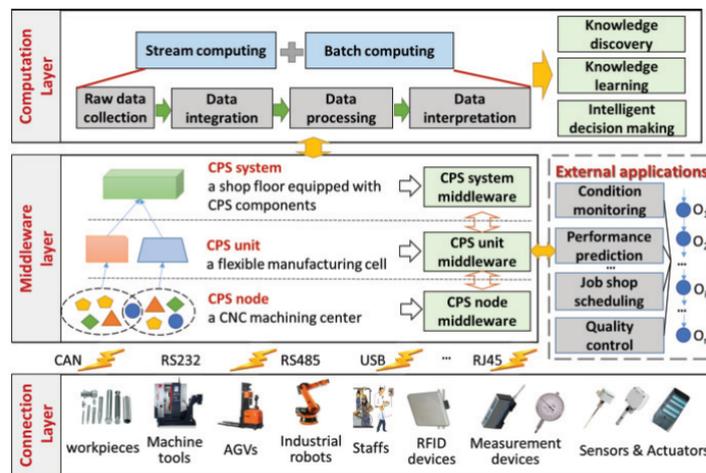


Figura 3.18: Arquitectura do sistema proposto por Liu et al. [34]

Esta solução foi integrada com três postos de trabalho: um micro torno CNC, uma fresadora CNC e outra fresadora CNC em conjunto com um robot. Estes possuem vários sensores e leitores RFID, com middlewares específicos, que comunicam dados num formato JSON para a camada computacional através da Internet, em tempo real [34].

---

## Capítulo 4

# Solução Proposta

---

Neste capítulo vai ser explicada a solução desenvolvida para dar resposta aos problemas propostos pela Vista Alegre. Primeiramente é apresentada a arquitetura da solução proposta, de modo a identificar as etapas e camadas presentes no sistema de rastreabilidade concebido.

Também é descrita a forma como os dados são processados desde o chão de fábrica até à base de dados, detalhando a mesma para ser perceptível a sua concepção.

### 4.1 Arquitetura da Solução Proposta

Qualquer empresa em que as propriedades químicas, físicas, térmicas, entre outras, da matéria prima sejam importantes para a qualidade dos produtos, guardar essas informações é imprescindível para aumentar a qualidade do produto. A solução proposta tem o objetivo de digitalizar, agilizar e monitorizar o registo e a exposição das propriedades relativas à matéria prima e associá-las aos produtos durante uma parte do processo produtivo. Nesse sentido é proposto um sistema de rastreabilidade flexível, moderno e intuitivo de modo à sua utilização ser simples e eficaz por parte dos operadores e encarregados.

Para que seja possível associar as propriedades da matéria prima aos produtos, é fundamental a existência de dispositivos físicos no chão de fábrica (camada inferior). Assim é possível identificar as propriedades nas etapas chave do processo produtivo de modo a conseguir relacionar os produtos com as características da matéria prima com que foram criados. Neste caso a solução proposta passa primeiramente pelo registo das propriedades relevantes, através da criação de uma interface gráfica *web* acedida por dispositivos móveis (*smartphones*, *tablet* ou portáteis) com ligação Wi-Fi, que enviam essas informações para a base de dados. Após as propriedades serem guardadas e associadas a um número de identificação, o *Middleware* (*Software* intermédio) ou UP vai buscar esse número e reencaminha-o para o sistema RFID, que por sua vez o envia para uma *tag*. Esta *tag*, que contém um número identificativo, é

posteriormente associada a um lote constituído por um número constante de rolos de matéria prima, atribuindo o conceito de *Smart Product* aos lotes.

O modo de transmissão ou receção de dados que o sistema de RFID é definido através de um botão digital presente na interface gráfica, de acordo com a finalidade pretendida, isto é, se o objetivo for identificar as propriedades da massa de um lote aquando da sua utilização, o sistema deve ser configurado para receber dados da *tag*. Por outro lado, se o propósito for conferir uma *tag* a um determinado lote, o modo utilizado deverá ser o associado à transmissão de dados. Após a configuração do modo pretendido o *Middleware* processa a informação recebida da interface gráfica e define a mensagem a enviar para o sistema de RFID de acordo com o que é programado. É a UP que tem a função de toda a comunicação que existe com o sistema de RFID e com o servidor que contém várias páginas *Hypertext Preprocessor* (PHP) e *Hypertext Markup Language* (HTML). O servidor pode executar duas tarefas, receber dados do *Middleware* ou pode ser usado pelo mesmo para aceder a dados de outras duas fontes: a base de dados e a interface gráfica.

A base de dados proposta vai de encontro às necessidades da empresa, isto é, o seu desenvolvimento é baseado nos dados que a empresa deseja que sejam guardados e analisados. Portanto a base de dados proposta tem em conta as imposições da Vista Alegre, contudo pode variar de empresa para empresa numa solução deste tipo.

O último componente da solução proposta é a interface gráfica que tem três propósitos, dois relacionados com a apresentação e introdução dos valores das propriedades e o terceiro, como já foi referido anteriormente, definir o modo de transmissão ou receção dos dados do sistema de RFID. Este componente tem a capacidade de ler a base de dados e também de inserir dados na mesma. Os ficheiros que dão origem à interface gráfica deverão estar no mesmo computador do servidor mencionado anteriormente.

Na Figura 4.1 é apresentado um diagrama representativo da solução proposta e da interação entre os vários componentes.

Os componentes descritos anteriormente podem ser organizados em três camadas físicas:

- **Camada Inferior** - formada pelos dispositivos físicos utilizados no chão de fábrica, normalmente incorporados nos processos produção e cadeias de fornecimento.
- **Camada Intermédia** - é nesta camada que surge o conceito de *Middleware* que faz a ponte entre os dispositivos da camada inferior com a camada superior através da UP.
- **Camada Superior** - composta por um computador/servidor local responsável por armazenar e apresentar os dados aos visualizadores através de uma interface gráfica.



**Figura 4.1:** Arquitetura da solução proposta.

## 4.2 Processamento dos Dados

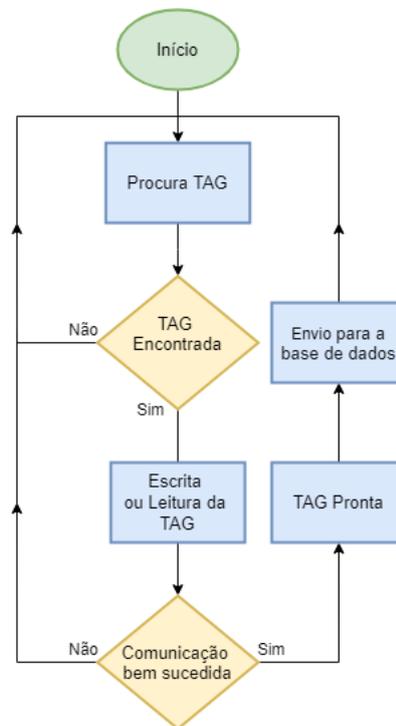
De modo a existir transmissão de dados entre as diversas camadas físicas do sistema da solução proposta, é necessário criar e processar as mensagens com o objetivo de realizar as operações requeridas. Este processamento de dados é executado em duas camadas, na intermédia por parte da UP e na superior por parte do servidor local.

### 4.2.1 Unidade de Processamento

A UP ou módulo IoT é dos componentes mais importantes da solução, já que contém o programa que controla o sistema de RFID. Este programa define que o leitor RFID procura repetidamente a presença de uma *tag* no seu campo electromagnético. Quando é encontrada uma *tag* é enviado uma mensagem para o micro processador da UP contendo a *Unique Identifier* (UID) da *tag*. É através deste UID que identifica a *tag* que esta vai ser sujeita a uma leitura ou escrita dependendo do objetivo pretendido.

É a UP que, à medida que vai recebendo as mensagens de resposta aos comandos de leitura e envio com determinados *bytes*, analisa-os de modo a verificar a sua estrutura e conteúdo, segundo a estrutura associada à *tag* utilizada, detalhada na secção 5.2.2.2. Assim, caso a mensagem recebida após os comandos de leitura ou escrita contenha *bytes* mal estruturados, o leitor volta ao estado cíclico de procura de *tag* representado na Figura 4.2. Por outro lado, se a mensagem de resposta estiver correctamente estruturada e as operações de envio ou leitura forem executadas, os dados podem seguir os seguintes caminhos:

- **Modo de Leitura:** os dados encontrados na *tag* seguem para a base de dados posteriormente apresentados na interface gráfica para análise dos colaboradores.
- **Mode de Escrita:** os dados são escritos na *tag* que posteriormente é associada a um lote de rolos de pasta.



**Figura 4.2:** Diagrama do processamento dos dados do sistema de RFID.

O programa presente na UP é também responsável por enviar, ou ir buscar dados à base de dados, através de pedidos *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) em páginas PHP presentes no servidor local, construindo assim a ponte entre a camada intermédia e a camada superior. Portanto o módulo IoT tem as seguintes funções:

- Criar e controlar o fluxo de dados entre o leitor RFID e a *tag*.
- Verificar a estrutura das mensagens recebidas e enviadas para o leitor RFID.
- Recolher e enviar a informação de/para a base de dados.

#### 4.2.2 Servidor local

O processamento de dados na camada superior, é da responsabilidade do servidor local que faz uso de um programa *Node-Red* e de páginas PHP. Tanto o programa *Node-Red*, como as páginas PHP têm a capacidade de enviar e recolher dados da base de dados, sendo o programa *Node-Red* constituído por várias funções encarregues de comunicar com a base de dados e criar a parte informativa e interativa da *interface* gráfica.

As páginas PHP têm o intuito de comunicar com a base de dados em duas circunstâncias: (i) no envio de mensagens HTTP do módulo IoT para a base de dados com o intuito de enviar

ou receber dados da mesma; (ii) na página da *interface* gráfica dedicada ao registo e *log-in* dos colaboradores.

O servidor local é então responsável por fazer a ligação entre a UP, a base de dados e a interface gráfica ficando assim encarregue de realizar as seguintes ações:

- Processar e enviar dados recebidos da UP para a base de dados.
- Recolher dados da base de dados e encaminhá-los para a UP.
- Registrar na base de dados informação inserida na *interface* gráfica.
- Retirar dados à base de dados e transmiti-los para a interface gráfica de modo a que sejam apresentados aos colaboradores.
- Actualizar valores na base de dados já registados.

### 4.2.3 *Interface* Gráfica

Com o objetivo de melhorar a apresentação e registo da informação retirada e processada ao longo deste sistema de rastreabilidade foi desenvolvida uma *interface* gráfica baseada em linguagens *web Hypertext Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e *JavaScript*, com o auxílio de uma função *Node-red* denominada *Dashboard*. Esta *interface* é dividida em vários separadores ou *tabs* de acordo com o seu intuito. Estas *tabs* estão relacionadas com três tipos de ações: registar, analisar e controlar.

Na *tab* dedicada ao registo de dados é possível introduzir os valores das propriedades da pasta sendo assim encaminhados para a base dados.

Nas *tabs* de análise são apresentados vários gráficos relativos à produção de lotes em determinados intervalos temporais, tabelas com as propriedades todas e informações relevantes associadas às mesmas e gráficos de *Gauge* ilustrativos dos valores das propriedades consoante os parâmetros indicados pela Vista Alegre.

Para realizar o controlo do sistema RFID foi criada uma *tab* para alternar entre o modo de envio e de leitura conforme o que é desejado. Nesta *tab* também está presente um indicador *led* de acordo com a presença ou não de *tag* no campo do leitor RFID.

Portanto a *interface* gráfica foca-se nas seguintes funções:

- Apresentar os valores das propriedades como, dureza, densidade, percentagem de H<sub>2</sub>O, entre outras, em determinadas etapas do processamento dos rolos de pasta.
- Disponibilizar tabelas com todos os valores de um número definido de lotes.
- Providenciar gráficos representativos da produção de lotes em vários intervalos temporais.
- Registrar os valores das propriedades.
- Controlar o sistema RFID e verificar a presença de *tag*.

## 4.3 Base de dados proposta

Nos sistemas de rastreabilidade desenvolvidos em empresas, é necessário criar uma base de dados para armazenar todo o tipo de informação pertinente. Cada empresa terá uma base de dados consoante as suas necessidades, contudo neste caso a Vista Alegre precisa de guardar

dados referentes à chegada de nova matéria prima que posteriormente é inserida no ERP da empresa e às propriedades químicas da pasta associadas ao lotes de rolos de pasta através de *tags* RFID. Isto permite que seja possível fazer uma consulta pelo ID do lote e conseguir visualizar as propriedades da pasta com que foi criado.

#### 4.3.1 Diagramas de Entidade-Relação

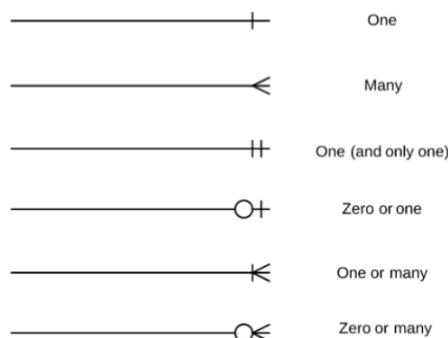
Os diagramas de entidade e relacionamento, como o nome indica, são compostos por representações gráfica de várias entidades que compõem uma base de dados e dos relacionamentos existentes entre si. Neste tipo de diagramas estão também presentes os atributos ou chaves que fazem parte de cada entidade. Deste modo é possível definir os três principais componentes[35], [36]:

- **Entidades** - representam um conceito que pode ser físico (produtos, colaboradores, ordens de fabrico, entre outros) ou lógico (discussão, reunião, entre outros) em que podem ser associados atributos com o intuito de os rastrear. Numa base de dados normalizada uma entidade corresponde a uma tabela.
- **Relações** - fazem a ligação entre entidades com grafismos diferentes consoante a relação existente.
- **Atributos e Chaves** - são os dados que caracterizam uma entidade. Por exemplo, as propriedades químicas de uma determinada amostra de matéria. Dentro deste grupo existem atributos que podem ser denominados de chaves. Existindo diferentes tipologias[35], [37]:
  - **Candidatas** - atributo ou conjunto de atributos que conseguem identificar de forma inequívoca qualquer tuplo de uma relação.
  - **Primárias (PK)** - atributo simples ou composto que de forma única identifica um registo numa tabela. Este atributo tem de ter as seguintes características: (i) tem de ter um valor único; (ii) não pode ser nula; e (iii) não pode ser redundante. Assim uma tabela só pode ter uma chave primária.
  - **Estrangeiras (FK)** - atributos de uma entidade/tabela que são chave primária de outra tabela.

Para realizar este tipo de diagrama recorreu-se à plataforma online *Lucidchart* que tem a vantagem de dar a possibilidade de exportar diagramas deste género e criar a respetiva base de dados, mas também de criar os diagramas a partir de uma base de dados já desenvolvida. A análise destes diagramas passa também pela compreensão da notação de cardinalidade e ordinalidade das relações entre entidades, os possíveis relacionamentos estão representados na Figura 4.3.

Na Figura 4.4 é apresentado o diagrama de entidade e relacionamento alusivo à base de dados criada e utilizada na solução proposta.

Como é perceptível pelo diagrama de entidade e relacionamento da solução proposta que existem variadas entidades correspondentes às diferentes tabelas criadas na base de dados. Neste diagrama também se pode observar o tipo de relação que interliga as várias entidades.



**Figura 4.3:** Cardinalidade e ordinalidade das relações entre entidades [38].

De seguida é detalhado, de forma resumida, a base de dados de rastreabilidade proposto, começando por explicar o porquê da existência de cada entidade.

- **Entidade *colaborador*** - esta entidade possui como chave primária (PK) o número de identificação dos colaboradores (*id\_worker*). Os restantes atributos são associados com a senha de entrada escolhida pelos colaboradores (*password*) e também a hora (*time\_signup*) e a data (*date\_signup*) em que efetuaram o seu registo para poderem utilizar a interface gráfica.
- **Entidade *login*** - tem como chave primária o número de identificação de entrada na plataforma *web* criada (*id\_worker\_login*) associado aos restantes atributos, mais concretamente ao número de identificação de cada colaborador (*id\_worker*) que é chave estrangeira visto que é chave primária noutra entidade e também à hora (*time\_login*) e à data (*date\_login*) de entrada na interface gráfica. Esta entidade serve para controlar o acesso dos colaboradores à plataforma *web*.
- **Entidade *erp*** - tem o propósito de registar as entradas de matéria prima na empresa. Os atributos associados estão relacionados com as características da matéria prima que entra na empresa e dizem respeito ao item do pedido (*po\_item*), número do pedido (*po\_number*), número identificador do fornecedor (*id\_fornecedor*), tipo de matéria prima (*material*), quantidade de matéria prima (*entry\_qty*), data do documento do pedido (*doc\_date*), data da receção (*posting\_date*) e hora da receção (*time\_erp*). A junção destas características dá origem a um ID novo denominado por *id\_erp*. Todas estas informações são posteriormente enviadas para o ERP da empresa.
- **Entidade *rececao*** - esta entidade tem o objetivo de guardar as propriedades da matéria prima na etapa denominada por receção. É possível observar as propriedades que foram indicadas como importantes pela empresa como a identificação do colaborador que as registou (*id\_worker\_rec*), a densidade (*density\_rec*), dureza (*hardness\_rec*), distribuição granulométrica (*part\_dist\_rec*), resistência mecânica do chacoite (*mecres\_cha\_rec*), resistência mecânica do cozido (*mecres\_coz\_rec*), resistência mecânica do seco (*mecres\_seco\_rec*) associadas à matéria prima e também à hora e data do registo das propriedades (*time\_rec* e *date\_rec* respetivamente). Estas informações todas aglomeradas dão origem a um novo ID (*id\_rececao*) que é a chave primária desta

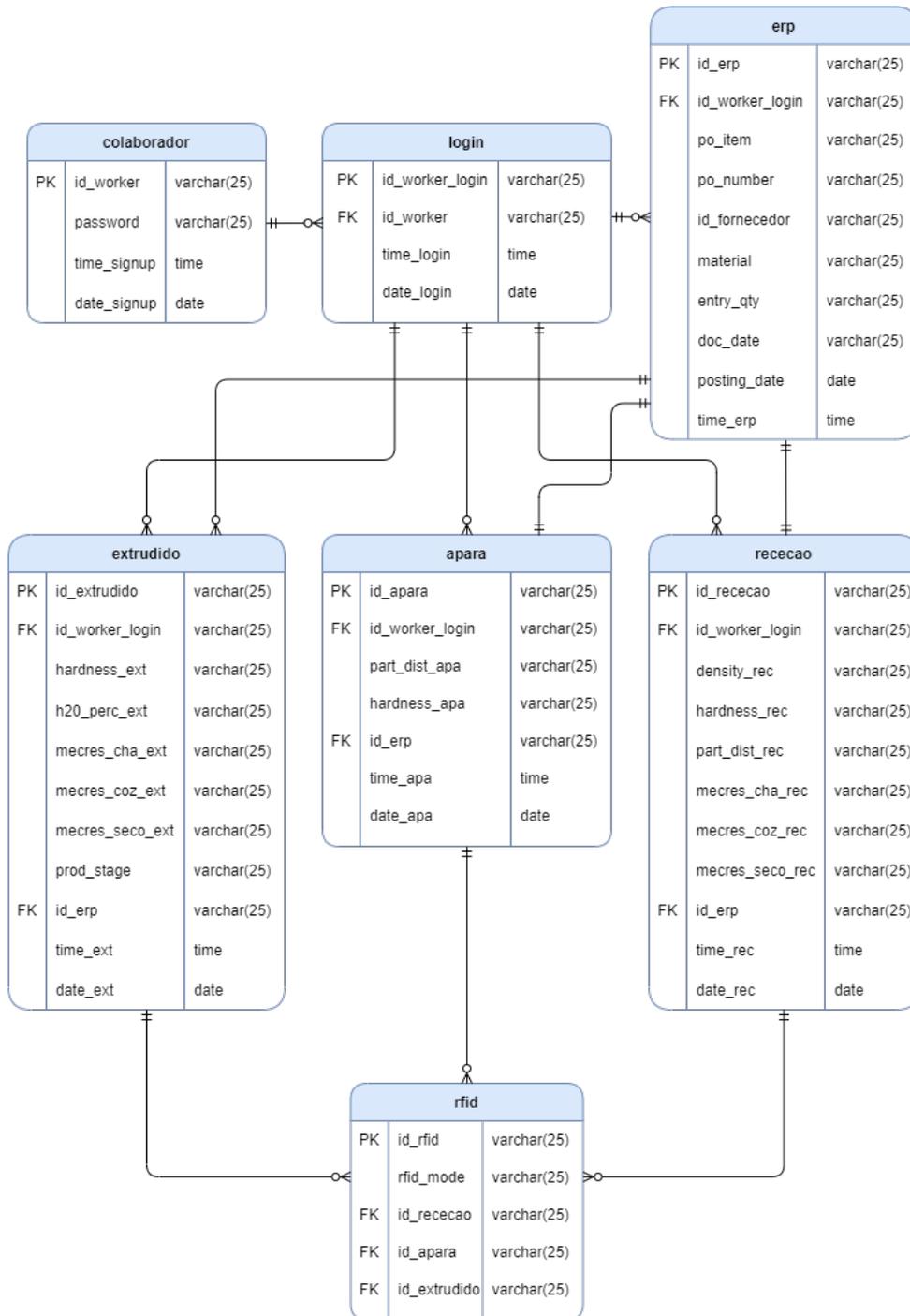
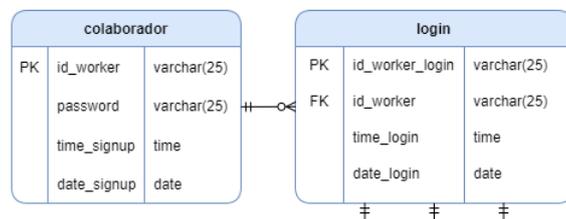


Figura 4.4: Diagrama de entidade e relacionamento da solução.

entidade.

- **Entidade *apara*** - esta entidade é semelhante à anterior mudando os nomes das variáveis que geram a chave primária associada à etapa da *apara* (*id\_apara*).
- **Entidade *extrudido*** - praticamente idêntica às duas entidades anteriores no que diz respeito ao conceito de guardar propriedades com a adição de um atributo novo (*prod\_stage*), relacionado com a etapa em que o lote de pasta extrudida está inserido. Nesta entidade a chave primária é o número de identificação do lote extrudido (*id\_extrudido*).
- **Entidade *rfid*** - estando associada ao controlo do sistema RFID, esta entidade tem como chave primária um ID (*id\_rfid*) associado aos atributos de controlo do modo de transmissão de dados do leitor RFID (*rfid\_mode*) e com o número de identificação da *tag* (*id\_tag*). Este último atributo é uma chave estrangeira (FK) já que é chave primária da entidade anterior.

Quanto às relações entre entidades presentes na Figura 4.4 vão ser explicadas e analisadas de seguida para que sejam interpretadas corretamente. As relações que existem entre entidades são definidas pelas linhas e símbolos que as unem, começando pela relação de entidades apresentada na Figura 4.5, mais precisamente a relação entre a entidade *colaborador* e a entidade *login*. Neste caso a relação indica que cada colaborador pode realizar zero ou várias entradas (*log-in*) na plataforma *web*, com as credenciais com que se registou previamente. No entanto cada *login* na interface gráfica está associado somente a um colaborador.



**Figura 4.5:** Relações entre entidades *colaborador* e *login*.

Na Figura 4.6 pode ser observada a relação entre a entidade *erp* e *login* que, por um lado revela que para cada acesso à interface gráfica podem estar associados zero ou vários registos de entrada de material e, no sentido contrário, para cada registo de entrada de matéria prima está correlacionado um e só um acesso por parte de um colaborador.

Analisando a Figura 4.7 é possível constatar a existência de três relações entre entidades do mesmo tipo, isto é, de um para zero ou vários. Estas podem traduzir-se da seguinte maneira: cada acesso (*login*) de um colaborador pode estar ligados a zero ou várias propriedades nas três etapas onde os mesmos são registados (*rececao*, *apara* e *extrudido*), contudo cada uma dessas entidades e respetivos atributos (neste caso as propriedades da pasta) só podem estar relacionados com somente um acesso por parte dos colaboradores.

Na Figura 4.8 está representada a relação entre a entidade *erp* e as entidades das propriedades (*rececao*, *apara* e *extrudido*), estas relações são todas de um para um e revelam que para cada registo em qualquer etapa das respetivas propriedades está associado um registo

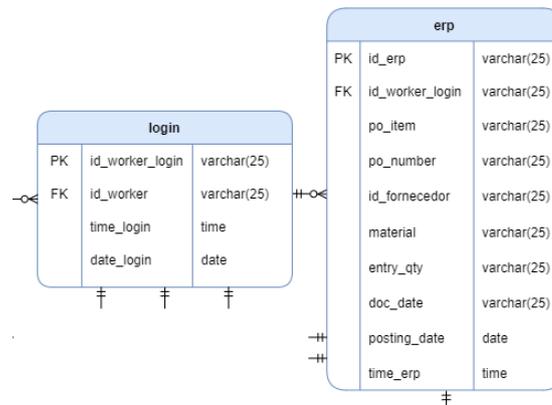


Figura 4.6: Relações entre entidades *erp* e *login*.

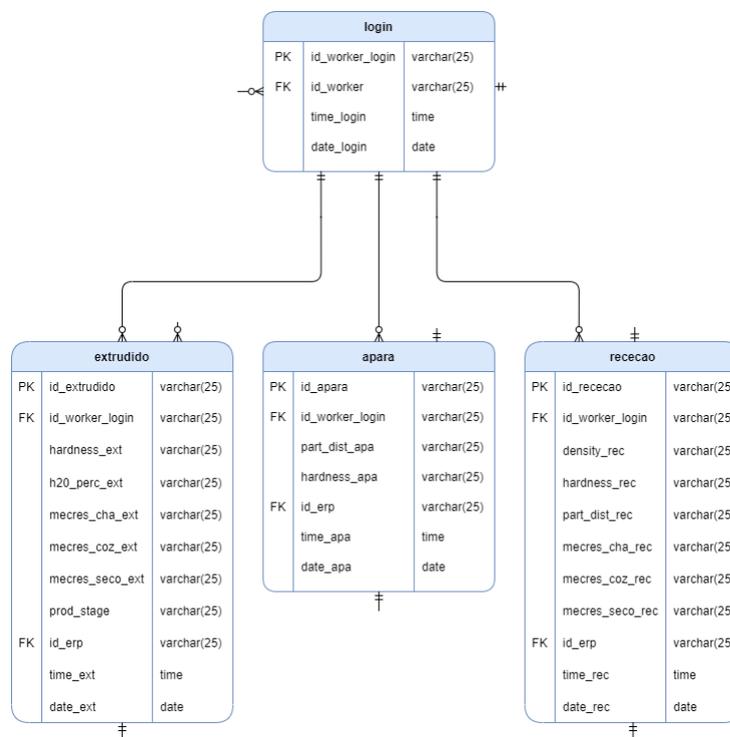
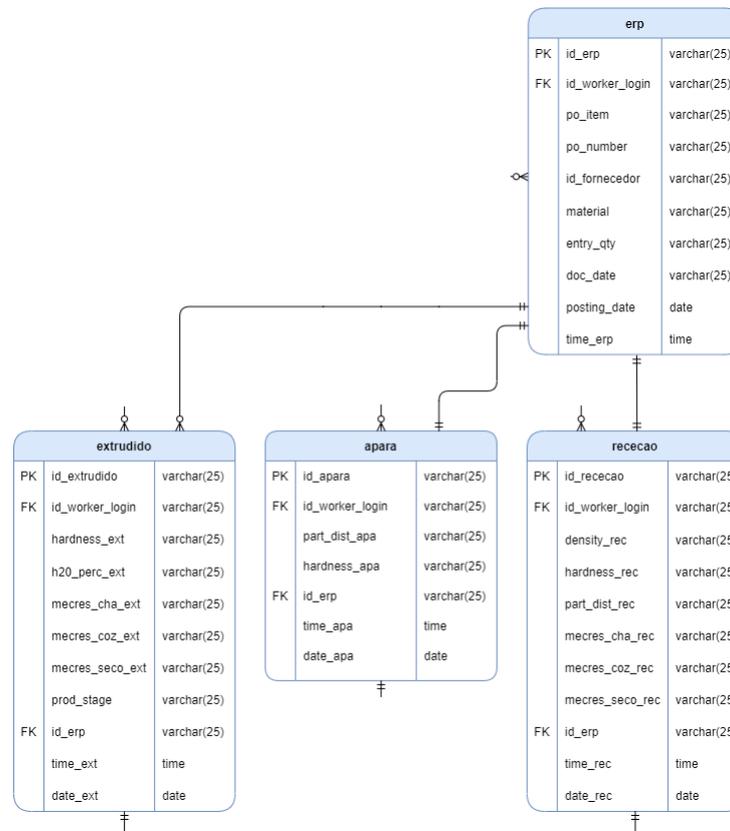


Figura 4.7: Relações entre entidades *login*, *reacao*, *apara* e *extrudido*.

no ERP e vice versa, excepto no caso do extrudido que para cada registo no ERP podem derivar vários registos de pasta extrudida.



**Figura 4.8:** Relações entre entidades *erp*, *rececao*, *apara* e *extrudido*.

Por último, na Figura 4.9 observa-se as relações das entidades que contêm as propriedades da pasta nas diferentes etapas de produção com a entidade que controla o sistema RFID. Destas relações retira-se que para cada *tag* está associado só um grupo de atributos de cada entidade (*rececao*, *apara* e *extrudido*) através de um número de identificação, por outro lado as entidades *rececao*, *apara* e *extrudido*, podem estar ligadas a zero ou várias *tags* diferentes.

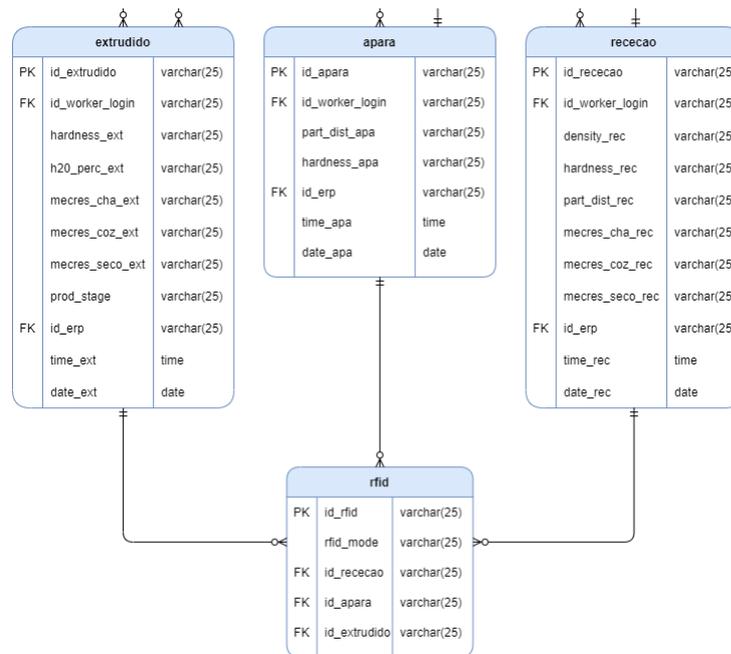


Figura 4.9: Relações entre entidades *rececao*, *apara*, *extrudido* e *rfid*.

### 4.3.2 Diagramas de Dependências Funcionais

O desenvolvimento de uma base de dados tem de respeitar certos requisitos para ser efetuado corretamente de modo a que, durante o seu uso, não existam problemas. Para cumprir esses requisitos e não aparecerem falhas indesejadas é necessário normalizar a base de dados de modo a ser possível cumprir os seguintes requisitos [36]:

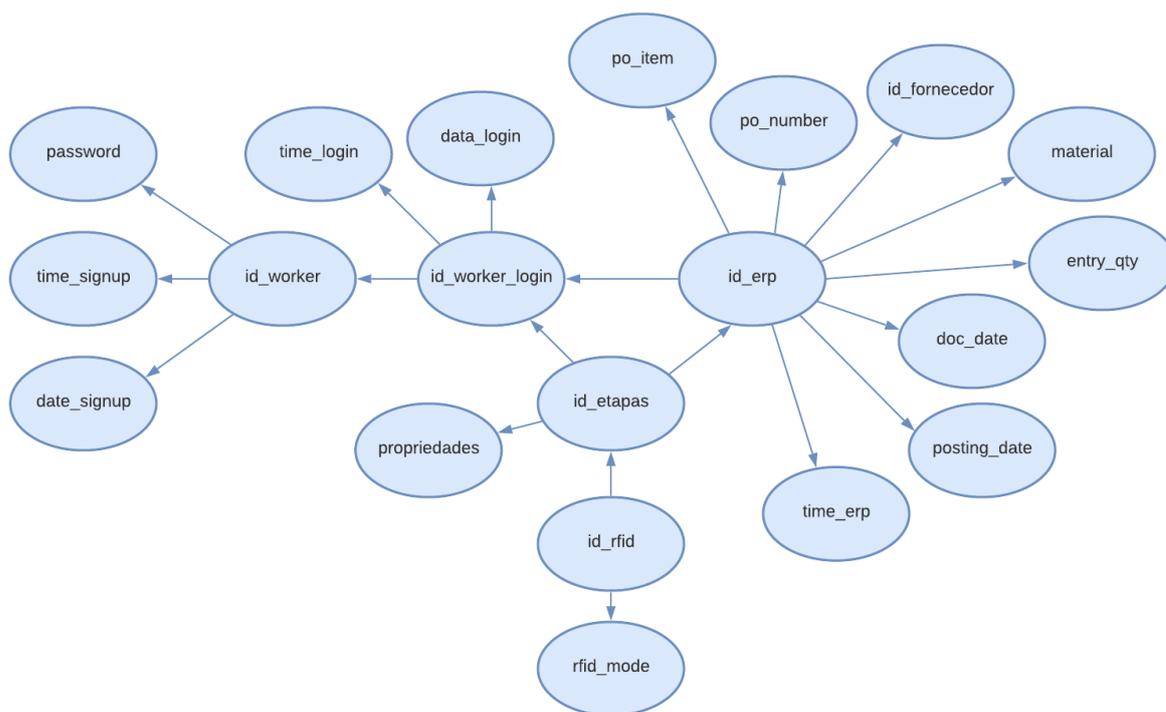
- Ter a capacidade necessária para armazenar todos os dados, atributos, necessários à empresa.
- Pode ter dados duplicados mas não dados redundantes.
- Deve conter o menor número possível de relações.
- Deve ter todas as relações normalizadas para evitar problemas futuros na atualização, remoção ou atualização de dados.

Para realizar a normalização é essencial obedecer a certas regras denominadas Formas Normais. A Forma Normal de Boyce-Codd (FNBC) é uma das seis Formas Normais existentes e garante que a estrutura da base de dados esteja a um bom nível o que faz com que seja considerada suficiente para grande parte das aplicações. A FNBC é baseada no conceito de dependência funcional entre atributos de uma relação o que torna mais simples a sua interpretação e afirma que uma base de dados está normalizada quando o número de chaves candidatas é igual ao número de determinantes, num diagrama de dependências funcionais. [27], [35], [36].

Desta forma, com o objetivo de atingir a normalização foi elaborado o diagrama de dependências funcionais apresentado na Figura 4.10 que corresponde à base de dados proposta. Destacar a presença do atributo *id\_etapas* que representa as três etapas (*rececao*, *apara* e

*extrudido*) onde são registadas as propriedades, optou-se por resumir para não ficar um diagrama muito extenso e confuso, dado que as relações são iguais nos três casos. O atributo *propriedades* representa todas as restantes propriedades que estão relacionadas com as etapas.

A tabela 4.10 foi criada com base na Figura 4.10 e conclui-se que não está de acordo com a FNBC já que nem todos os determinantes da relação são chaves candidatas da mesma. Para atingir a normalização em função da FNBC é preciso dividir a relação da Figura 4.10.



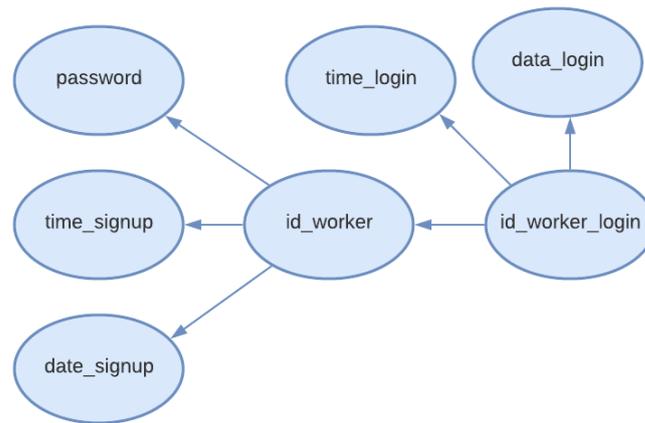
**Figura 4.10:** Diagrama de dependências funcionais.

**Tabela 4.1:** Relação Universal.

Determinantes	Chaves Candidatas
rfid	rfid
id_erp	
id_etapas	
id_worker_login	
id_worker	

Na Figura 4.11 está representada a primeira divisão e analisando a mesma constata-se que a relação, denominada em diante por "Relação A", não está na FNBC, o que é corroborado pela existência de mais determinantes do que chaves candidatas na Tabela 4.2.

Portanto é preciso decompor a Relação A em duas sub relações, "A1" e "A2" apresentadas na Figura 4.12 respetivamente. As relações "A1" e "A2" já se encontram normalizadas como é possível confirmar através das Tabelas 4.3a e 4.3b onde existem números iguais de determinantes e chaves candidatas. Após ser feita a normalização já se pode indicar as chaves

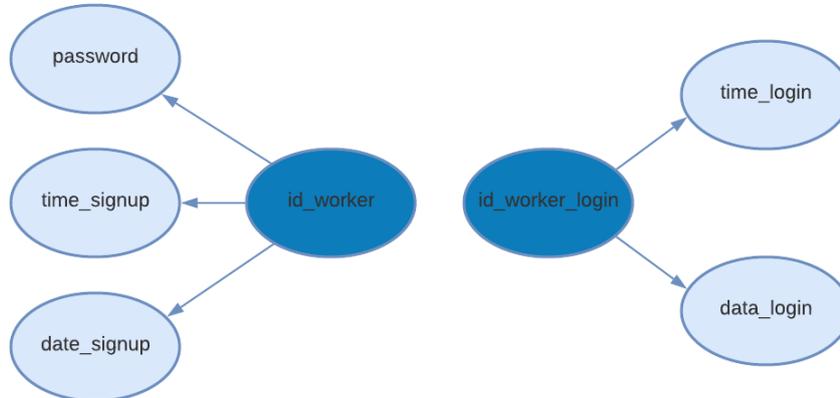


**Figura 4.11:** Diagrama da Relação A.

**Tabela 4.2:** Relação A - Não normalizada.

Determinantes	Chaves Candidatas
id_worker_login	id_worker_login
id_worker	

primárias de cada relação, assinaladas com uma cor mais escura.



**Figura 4.12:** Diagrama da Relação "A1" e "A2" respectivamente - Normalizados.

Na Figura 4.13 está representada a relação definida como "B" que já é uma divisão da relação "A" depois da normalização anterior. Construindo a Tabela 4.4 de determinantes e chaves candidatas baseada na relação "B", determina-se que não está normalizada devido à desigualdade no número de determinantes e chaves candidatas. Com vista à sua normalização é fundamental recorrer à decomposição da relação em duas sub relações, "B1" e "B2".

As sub-relações "B1" e "B2" são exibidas nas Figuras 4.14 e 4.15 e assim após elaborar as Tabelas 4.5a e 4.5b chega-se à conclusão que é atingida a normalização segundo a FNBC. Mais uma vez as chaves primárias de ambas as relações estão representadas a uma cor mais

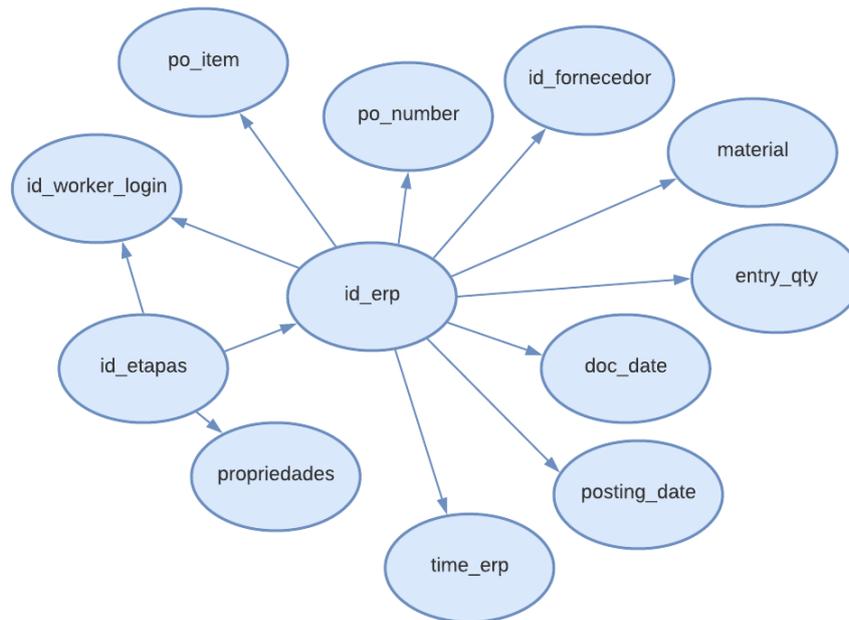
**Tabela 4.3:** Sub relações "A1" e "A2" - Normalizadas.

(a) Tabela da Relação "A1" - Normalizada.

	Determinantes	Chaves Candidatas
Relação B1	id_worker	id_worker

(b) Tabela da Relação "A2" - Normalizada.

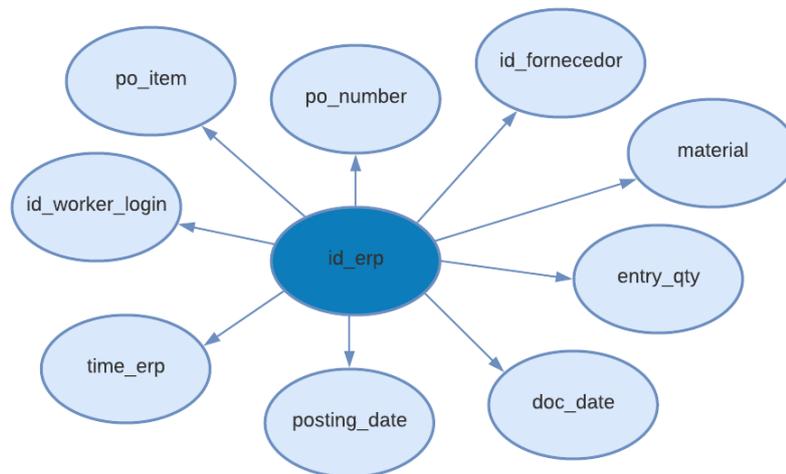
	Determinantes	Chaves Candidatas
Relação B2	id_worker	id_worker

**Figura 4.13:** Diagrama da Relação "B" - Não Normalizado.**Tabela 4.4:** Relação "B" - Não normalizada

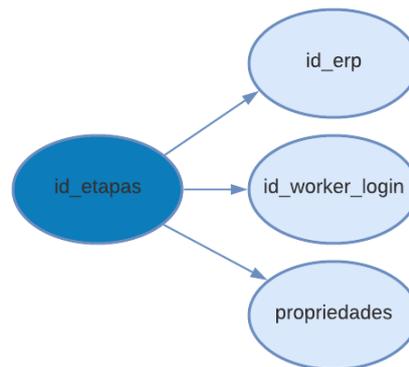
Determinantes	Chaves Candidatas
id_etapas	id_etapas
id_erp	

escura em relação aos restantes atributos. Importante referir que em relação ao atributo *id\_etapas* que foi resumido as chaves primárias são: *id\_rececao*, *id\_apara* e *id\_extrudido* para cada respetiva etapa.

Por último resta a relação presente na Figura 4.16 que pela FNBC já está normalizada, provado pela Tabela 4.6 onde existe o mesmo número de determinantes e de chaves candidatas.



**Figura 4.14:** Diagrama da Relação "B1" - Normalizado.



**Figura 4.15:** Diagrama da Relação "B2" - Normalizado.

**Tabela 4.5:** Sub relações "B1" e "B2" - Normalizadas.

(a) Tabela da Relação "B1" - Normalizada.

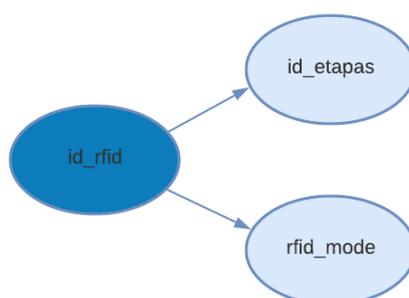
	Determinantes	Chaves Candidatas
Relação B1	id_erp	id_erp

(b) Tabela da Relação "B2" - Normalizada.

	Determinantes	Chaves Candidatas
Relação B2	id_etapas	id_etapas

**Tabela 4.6:** Tabela da Relação "C" - Normalizada.

	Determinantes	Chaves Candidatas
Relação C	id_rfid	id_rfid



**Figura 4.16:** Diagrama da Relação "C" - Normalizado.

Todos os diagramas anteriores vão de encontro à criação das tabelas da base de dados que vão ser um dos pilares do funcionamento do sistema proposto. Neste caso existem quatro chaves primárias representadas diretamente nos diagramas anteriores por uma cor mais escura e três ligadas ao atributo *id\_etapas* (uma por cada etapa) o que dá origem ao total de sete chaves primárias. Estas chaves por sua vez indicam que vão ser precisas sete tabelas na base de dados apresentadas na Figura 4.17. Realçar que as células mais escuras correspondem às chaves primárias de cada tabela da base de dados.

colaboradores

<b>id_worker</b>	password	time_signup	date_signup
------------------	----------	-------------	-------------

login

<b>id_worker_login</b>	id_worker	time_login	date_login
------------------------	-----------	------------	------------

erp

<b>id_erp</b>	id_worker_login	po_item	id_fornecedor	material	entry_qty	doc_date	posting_date	time_erp
---------------	-----------------	---------	---------------	----------	-----------	----------	--------------	----------

rececao

<b>id_rececao</b>	id_worker_login	density_rec	hardness_rec	past_dist_rec	mecres_cha_rec	mecres_coz_rec	mecres_seco_rec	id_erp	time_rec	date_rec
-------------------	-----------------	-------------	--------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	--------	----------	----------

apara

<b>id_apara</b>	id_worker_login	part_dist_apa	hardness_apa	id_erp	time_apa	date_apa
-----------------	-----------------	---------------	--------------	--------	----------	----------

extrudido

<b>id_extrudido</b>	id_worker_login	hardness_ext	h20_perc_ext	mecres_cha_ext	mecres_coz_ext	mecres_seco_ext	prod_stage	id_erp	time_ext	date_ext
---------------------	-----------------	--------------	--------------	----------------	----------------	-----------------	------------	--------	----------	----------

rfid

<b>id_rfid</b>	rfid_mode	id_rececao	id_apara	id_extrudido
----------------	-----------	------------	----------	--------------

**Figura 4.17:** Tabelas utilizadas na base de dados.



---

## Capítulo 5

# Implementação da solução proposta

---

Após ter sido definida a solução proposta, foi necessário desenvolver a mesma com o objetivo de a poder implementar na Vista Alegre. Neste capítulo vai ser descrito o modo como decorreu, tanto o desenvolvimento como a sua implementação.

Primeiramente vai ser apresentada a arquitetura do sistema implementado na empresa ajudando a perceber melhor o seu funcionamento.

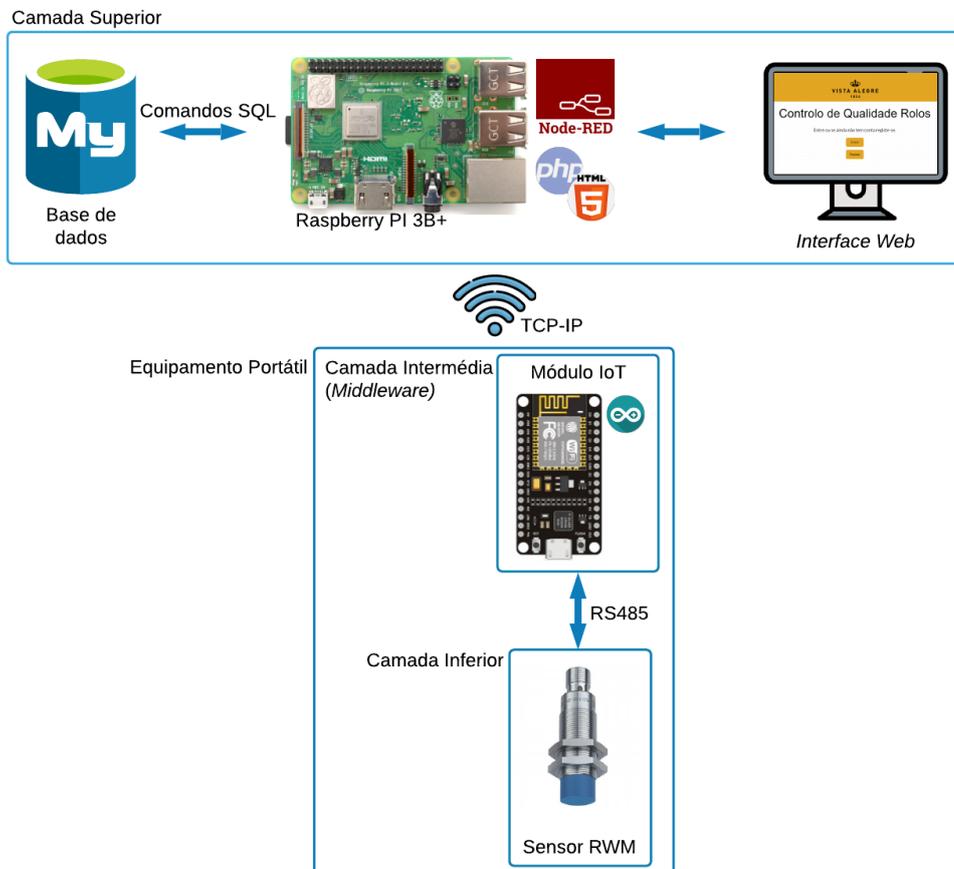
Posteriormente vão ser retratados os equipamentos que dão vida a este sistema de rastreabilidade, detalhando as suas funcionalidades e características e explicando de que forma estão interligados entre si.

Por fim será explicada a interação com o ERP da empresa, neste caso o SAP.

### 5.1 Arquitetura da Implementação

A arquitetura da implementação passa pela definição das três camadas anteriormente referidas que constituem o sistema desenvolvido apresentado na Figura 5.1. A camada inferior é composta por um leitor RFID da marca Contrine mais concretamente o modelo RLS-1183-020 que está ligada por RS485 à camada intermédia que contém o módulo IoT. Esta camada é então formada por uma unidade de processamento na forma de um módulo IoT, que tem como núcleo o ESP8266, uma placa de desenvolvimento de baixo custo e consumo, com um módulo WiFi. Para que seja possível estabelecer a comunicação entre o ESP8266 e o leitor RFID foi necessária a utilização de uma placa conversora de *Transistor-Transistor Logic* (TTL) para RS485 (e vice-versa), já que os leitores da marca Contrinex comunicam com o ESP8266 através de um barramento de RS485 e por essa razão foi fundamental converter em comunicação série para assim ser lida pelo ESP8266. Para dar mais liberdade aos colaboradores no chão de fábrica aplicou-se um conceito de mobilidade juntando estas duas camadas num equipamento portátil, assim é possível utilizar as potencialidades do sistema RFID em toda a área de chão

de fábrica da empresa.



**Figura 5.1:** Representação do modo de funcionamento da implementação.

Na camada superior, esta estática, encontra-se outra unidade de processamento onde se destaca o Raspberry Pi 3B+, utilizado como servidor local. Como foi mencionado no capítulo anterior é neste servidor local onde estão localizados todos os ficheiros e programas que fazem a ligação à *interface* gráfica e à base de dados. Para realizar essa comunicação existe um programa *Node-Red* que também foi utilizado para criar a *interface* gráfica. Este programa tem a capacidade de ir recolher os dados inseridos pelos colaboradores na *interface* gráfica e enviá-los para a base de dados assim como consegue realizar o inverso, isto é, ir buscar informações à base de dados e reenviá-los para serem apresentados na *interface* gráfica. É neste servidor que também se encontram vários ficheiros PHP e HTML usados para, por um lado, enviar mensagens HTTP do ESP8266 para a base de dados e, por outro, criar a página inicial da *interface* gráfica descrita em B.1.

Esta *interface* gráfica *web* como, já foi dito anteriormente, está encarregue das seguintes funções:

- Apresentar as informações relevantes para a empresa acerca da matéria prima utilizada para criar os rolos de pasta.
- Controlar o sistema RFID e os seus modos de comunicação.

- Registrar as propriedades da matéria prima nas respetivas etapas de produção.

Esta *interface* gráfica *web* foi desenvolvida no *Node-Red* com o auxílio de vários *nodes*. A vantagem da utilização deste programa passa pela possibilidade de criar uma página *web* que se adapta ao tamanho do ecrã, permitindo que seja acessível através de um computador, de um tablet ou de um smartphone, sem existir desformatação do conteúdo.

O tipo de base de dados escolhida foi *MySQL* devido à facilidade e familiaridade encontrada na interação com a mesma.

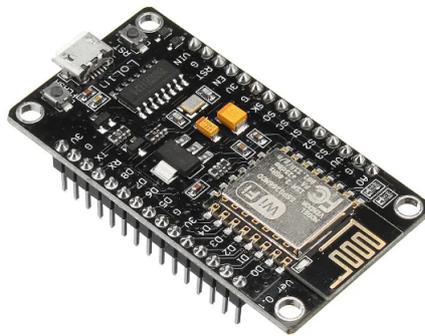
## 5.2 Hardware

### 5.2.1 Módulo IoT

#### 5.2.1.1 ESP-12E

O ESP-12E é uma placa de desenvolvimento com Wi-Fi desenvolvido pela Espressif Systems para aplicações IoT, que possui o microcontrolador ESP8266. Este está equipado com um microprocessador Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC que opera a uma frequência ajustável de 80-160 MHz. Possui ainda outras características como [39], [40]:

- 128kB de memória *Random Access Memory* (RAM) interna.
- 4 MBs de memória Flash.
- 802.11b/g/n no transceptor Wi-Fi.



**Figura 5.2:** Placa ESP8266 NodeMCU.

A tensão de operação do ESP8266 é de 3V a 3.6V, tendo um regulador de tensão *Lowdropout* (LDO) que permite manter esta tensão com um valor estável de 3.3V. Consegue ainda fornecer até 600 mA de intensidade de corrente. Contém ainda pinos 3V3 que permitem alimentar dispositivos ligados a ele.

A placa é alimentada por um cabo Micro *Universal Serial Bus* (USB), podendo também ser alimentado por uma fonte configurada para até 5V. Para comunicação em série possui um CP2102 USB-to-*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) Bridge Controller que converte os sinais USB para série permitindo a um computador comunicar com o seu chip e programá-lo. Ao nível de periféricos e I/O o ESP8266 possui um total de 30 pinos,

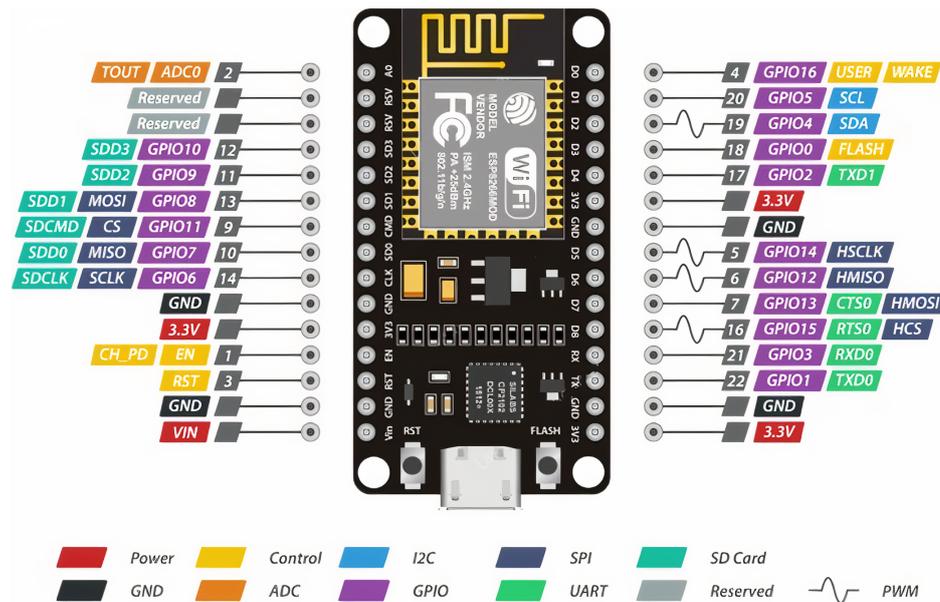


Figura 5.3: Identificação dos pinos da placa ESP8266 NodeMCU, adaptado de [40]

dos quais 17 *General Purpose Input/Output* (GPIO) de ambos os lados da placa. Entre estes pinos [39], [40]:

- **Pinos de alimentação** - 4 pinos, 1 para alimentar a placa com uma tensão até 5V e outros 3 para alimentarem outros equipamentos com uma tensão de 3.3V.
- **Pinos terra:** 4 pinos.
- **Pinos GPIO** - 17 pinos, estes podem ser configurados para outras funcionalidades como I2C, UART, *Pulse Width Modulation* (PWM), *LED Light* e botão.
- **Pinos I2C** - 2 pinos, usados para ligar todos os tipos de sensores e periféricos, sejam *Masters* como *Slaves*.
- **Pinos *Analogic to Digital Converter* (ADC)** - 1 pino conversor analógico digital.
- **Pinos UART** - 5 pinos, contudo apenas os UART0 e UART1 estão configurados, com o UART1 limitado apenas ao pino TX portanto só pode enviar dados. Os restantes 2 (RX2 e TX2) constituem o UART2 estão configurados apenas para serem trocados com os pinos configurados por defeito do UART0 (RX0 e TX0), apresentando ambos a capacidade de enviar e receber dados em HF no caso deste equipamento. Estes pinos são configurados e utilizados para comunicar por RS485 com o sensor de RFID.
- **Pinos *Serial Peripheral Interface* (SPI)** - 8 pinos.
- **Pinos *Secure Digital Input/Output Interface* (SDIO)** - 6 pinos.
- **Pinos PWM** - 4 pinos.
- **Pinos Controlo:** 4 pinos, usados para controlar o ESP8266.

No presente projeto, utilizaram-se essencialmente as funcionalidades Wi-Fi e UART mais precisamente a UART2 configurada para os GPIO 13 e 15 como irá ser detalhado mais à frente.

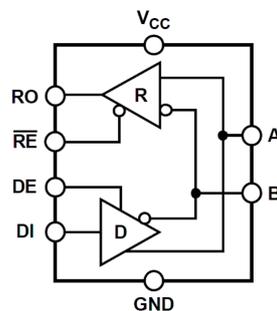
### 5.2.1.2 Módulo RS485 Olimex MOD-RS485

O Módulo RS485 Olimex MOD-RS485 é o componente chave para realizar a comunicação entre o micro-controlador e o leitor de RFID, isto deve-se ao facto do leitor utilizado comunicar por RS485, o que faz com que seja imprescindível converter os sinais enviados ou recebidos pelo micro-controlador em sinais RS485. O módulo apresentado na Figura 5.4 permite uma comunicação *Half-Duplex*, isto é, o leitor de RFID não tem a capacidade de enviar e receber dados ao mesmo tempo o que faz com que a comunicação seja estabelecida num só sentido de modo a que as operações sejam feitas à vez.



**Figura 5.4:** Módulo RS485 Olimex MOD-RS485.

A conversão dos sinais é possível através do *transceiver* ADM3483ARZ, integrado neste módulo da Olimex que dispõe de vários pinos representados na Figura 5.5. Como a comunicação é *Half-Duplex* os pinos do módulo responsáveis por controlar essa comunicação são os pinos DE e a  $\overline{RE}$  que em função do seu estado (0 ou 1), definem o modo de envio ou recepção do *transceiver*. A gestão destes pinos é feita através da ligação dos mesmos a um pino GPIO do micro-controlador e segue a lógica presente na Tabela 5.1 para o envio de dados e na Tabela 5.2 para a recepção de dados. As nomenclaturas "DI" e "RO" estão associadas aos pinos utilizados para efectuar a comunicação série entre o módulo e o micro-controlador, sendo conectados aos pinos TX e RX respetivamente.



**Figura 5.5:** Diagrama funcional do *transceiver* RS485, adaptado de [41]

Recorrendo à Tabela 5.1 é possível concluir que para existir o envio de dados com sucesso para o leitor de RFID, o pino DE deverá ser ativado ignorando o estado do pino  $\overline{RE}$ . Quando isto acontece e é enviado o bit "0" ou seja  $DI=0$  (em níveis TTL), revela que há uma voltagem

de cerca de 0V neste pino alterando a linha A para *zero* e a linha B para *um*. Quando  $DI=1$  (em níveis TTL) é enviado o bit "1", o que significa que há uma voltagem de cerca de 3.3V neste pino, a linha A passa a *um* e a linha B passa a *zero*. Se o pino DE estiver a *zero* as linhas A e B do barramento RS485 estão em alta impedância, não existindo transmissão de dados.

**Tabela 5.1:** Lógica pinos  $\overline{RE}$  e DE para o envio de dados, adaptado de [41].

$\overline{RE}$	DE	DI	B	A
X	1	1	0	1
X	1	0	1	0
0	0	X	Alta Impedância	Alta Impedância
1	0	X	Alta Impedância	Alta Impedância

De modo a realizar a recepção de dados, é necessário analisar a Tabela 5.2 e é de fácil compreensão que para receber dados do leitor no micro-controlador o pino  $\overline{RE}$  tem que estar a *zero*, desprezando agora o estado do pino DE. A recepção de dados está ativa quando a diferença de potencial entre as linhas A e B é maior ou igual a 0.2V ou menor e igual a -0.2V, recebendo o bit "1" e "0" respetivamente. No caso do pino  $\overline{RE}$  estar a *um*, o pino de recepção de dados fica em alta impedância, não havendo recepção de dados.

**Tabela 5.2:** Lógica pinos  $\overline{RE}$  e DE para a recepção de dados, adaptado de [41].

$\overline{RE}$	DE	A-B	RO
0	0	$\geq +0,2V$	1
0	0	$\leq -0,2V$	0
0	0	Entrada Aberta	1
1	0	X	Alta Impedância

Com o estudo das duas tabelas anteriores conclui-se que para realizar o controlo dos pinos DE e  $\overline{RE}$ , basta ligar ambos ao mesmo pino GPIO do micro-controlador já que quando o objetivo é enviar dados, o pino DE tem de ser ativado e o estado do pino  $\overline{RE}$  é desprezado. Quando se pretende receber dados, o pino  $\overline{RE}$  tem de ser desativado, e o estado do DE é ignorado. Assim o controlo do envio e recepção de dados é efetuado com somente uma saída do micro-controlador, alterando o estado da mesma para os valor *zero* (recepção) ou *um* (envio) de acordo com a operação pretendida.

### 5.2.2 Contrinex RWM (Read/Write Modules)

Nesta solução, faz-se o uso de leitores da Contrinex, designados por Contrinex RWM, mais especificamente o modelo RLS-1183-020. Este modelo possui um tamanho reduzido (M18x73.5), fazendo uso da norma ISO 15693, bastante utilizada para comunicações com frequência 13.56 MHz.

Estes leitores comunicam através do protocolo ContriNET RS485, cuja estrutura de mensagem será explorada nas sub-seções seguintes. Os leitores são relativamente baratos comparativamente a modelos mais avançados como o RLS-1303-20, que tem quase o dobro

do alcance (cerca de 60mm comparativamente aos 31mm do modelo utilizado neste trabalho). Ainda assim, este modelo é mais do que adequado para este protótipo inicial e para familiarização com o protocolo de comunicação integrado pela Contrinex.



**Figura 5.6:** Sensor Contrinex RLS-1181-020 RWM.

As principais características do leitor de RFID são as seguintes [42]:

- Tem uma rosca em aço inoxidável, podendo ser montado utilizando duas roscas como visto na Figura 5.6.
- É alimentado por uma tensão de 14-32 *Voltage Direct Current* (VDC), com uma corrente máxima de 60 mA;
- Alta frequência: 13.56 MHz.
- Utiliza a norma ISO 15693, comunicando com qualquer *TAG* compatível com esta norma.
- *Baudrate* com os seguintes valores: 115200 / 38400 / 19200 *bits* por segundo.
- Permite configuração do *address* através de dois métodos: fisicamente ou logicamente.
- Utiliza o protocolo RS485, permitindo assim um máximo de 32 dispositivos em cada *bus*.

### 5.2.2.1 Configuração do *address* do RWM

Como referido anteriormente, é possível configurar o *address* fisicamente ou logicamente. O *address* corresponde a um único byte. Pode-se configurar fisicamente através de um potenciômetro embutido no leitor, estando limitado a intervalo de 0 ao 9 (inclusive). Logicamente o *address* é definido por uma mensagem enviado ao leitor, especificando o seu valor, permitindo já um intervalo de valores mais alargado de 0 a 255 (inclusive).

O leitor possui um LED que define o modo como o *address* está configurado:

- **LED amarelo ligado** - *address* físico e configurado com o que está em destaque no potenciômetro.
- **LED amarelo a piscar** - *address* lógico, que não é possível de visualizar no equipamento, só recorrendo a software com um comando específico.

- **LED apagado** - nenhum *address* definido, devendo ser definido com recurso a um dos métodos anteriores.
- **LED verde ligado** - modo *bootload*, estando assim a carregar o *firmware* do leitor e com todas as outras funções desativadas.



**Figura 5.7:** Potenciómetro do sensor Contrinex RLS-1181-020 RWM, adaptado de [42].

### 5.2.2.2 Estrutura da mensagem

O RWM reconhece apenas mensagens que estejam de acordo com o protocolo ContriNET RS485 cuja estrutura se pode visualizar na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3:** Estrutura de mensagem do protocolo ContriNET, adaptado de [42].

SOFF	SRC	DST	LenH	LenL	SeqID	CMD	CRC	EOF
0x0F	1 byte	N bytes	1 byte	0x0F				

- **SOFF** - *Start of frame* (primeiro *byte* da mensagem).
- **SRC** - *Source address* (endereço do *Master*).
- **DST** - *Destination address* (endereço do *Slave*).
- **LenH/LenL** - *Packet length high/low* (contém o número de *bytes* do *packet*, que inclui o **CMD** e o **SeqID**).
- **SeqID** - *Sequence Identifier* (ID da sequência).
- **CMD** - *Command* (um ou N bytes com uma mensagem específica, por exemplo uma ordem de leitura ou de escrita).
- **CRC** - *Cycle redundancy check* (permite verificar erros nos dados enviados e recebidos. Estes RWM fazem uso do algoritmo CRC-8 CCITT).
- **EOF** - *End of frame* (último *byte* da mensagem).

### 5.2.3 Tag Contrinex

As *Tags* utilizada, naturalmente são também da Contrinex tendo-se escolhido o modelo RTP0501-020.

- Dimensões  $\phi 50 \times 3.2$ .
- Alcance máximo de 31mm para o RWM RLS-1183-020.
- Cada TAG permite 100,000 ciclos de escrita e um número ilimitado de ciclos de leitura. Os dados têm uma longevidade de 10 anos.
- Possui uma capacidade de 256 bytes organizados em 64 blocos de 4 bytes cada



**Figura 5.8:** Tag Contrinex RTP-0501-020.

- Estrutura em nylon com furo central para fixação por parafuso.
- Respeitam a Norma ISO15693.
- Permite comunicação com uma frequência de 13.56 MHz.
- Cada etiqueta possui um identificador único (UID) composto por 8 bytes.
- Possui algoritmo anti-colisão.

A memória da TAG está organizada segundo uma hierarquia (em sentido ascendente) composto por bytes, blocos e páginas. Cada página é composta por 4 blocos, e por sua vez cada bloco contém 4 bytes. 24 destes blocos são para configuração ( UID's, passwords), estando os restantes 40 disponíveis para se armazenar qualquer informação pretendida [10], [43].

Pages	Blocks	Byte 3	Byte 2	Byte 1	Byte 0
9	39				
	38				
	37				
	36				
...	...				
1	7				
	6				
	5				
	4				
0	3				
	2				
	1				
	0				
-1	-1				
	-2				
	-3				
	-4				
...	...				
-6	-21				
	-22				
	-23				
	-24				

Blocos 0-39  
 Disponíveis para  
 o utilizador

Blocos 1-24  
 Configuração da TAG

**Figura 5.9:** Estrutura da memória das Tags, adaptado de [40]

#### 5.2.4 Raspberry PI 3B+

Um Raspberry Pi é um computador de pequenas dimensões e baixo custo desenvolvido pela *Raspberry Foudation*, no Reino Unido. A estes pequenos computadores podem ser conetados todos os periféricos utilizados num computador normal e é através da ligação a um monitor, a um rato e a um teclado que se consegue interagir com o mesmo. O sistema operativo oficial fornecido pela *Raspberry Foudation* é denominado *Raspbian*, baseado em *Linux*, que é instalado num cartão *micro SD* inserido no dispositivo. Estes computadores são capaz de fazer

tudo o que se espera que um computador normal faça, desde navegar na Internet e reproduzir vídeos em alta definição até realizar processamento de texto e jogar jogos [44].



**Figura 5.10:** Exemplo de um Raspberry Pi 3B+, adaptado de [44]

Na realização deste projeto foi utilizado o modelo Raspberry Pi 3B+ apresentado na Figura 5.10. Este modelo é alimentado por uma porta *micro* USB, contém várias entradas USB e alguns pinos programáveis (GPIO). Este tipo de equipamentos têm sido utilizados para projetos IoT devido à sua portabilidade e poderem ser usados como computadores com a sua própria *interface* gráfica o que é bastante apelativo para desenvolver programas em Python, C/C++ e *Node-Red*. De seguida são apresentadas as especificações do modelo utilizado neste projeto [45]:

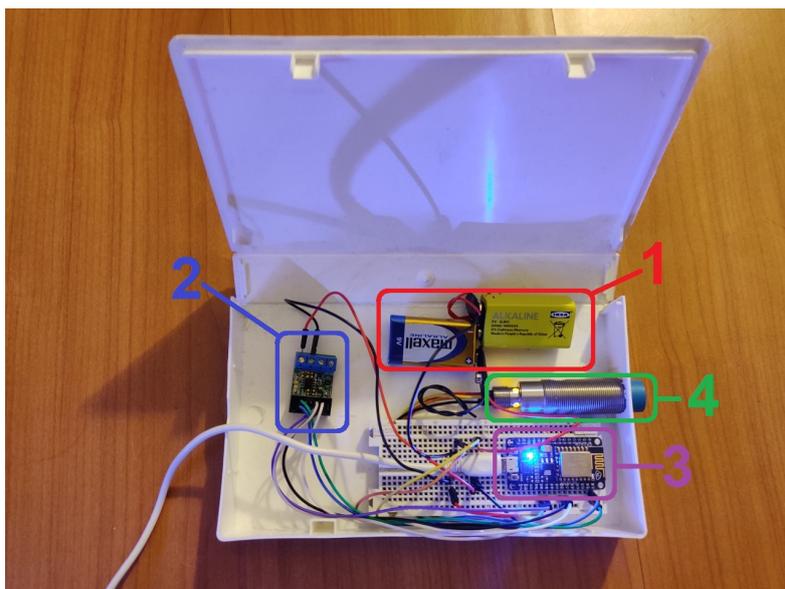
- **System on Chip (SoC):** Broadcom BCM2837B0 Quad-Core A53 (ARMv8) 64-bit 1.4GHz.
- **GPU:** Broadcom Videocore-IV.
- **RAM:** 1GB LPDDR2 SDRAM.
- **Rede:** Gigabit Ethernet, 2.4GHz and 5GHz 802.11b/g/n/ac Wi-Fi.
- **Bluetooth:** Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy (BLE).
- **Armazenamento:** Micro-SD.
- **GPIO:** 40-pin GPIO header, populated.
- **Portas:** 1x HDMI 3.5mm analogue audio-video jack, 4x USB 2.0, 1x Ethernet, 1x Camera Serial Interface (CSI), 1x Display Serial Interface (DSI).
- **Dimensões:** 82mm x 56mm x 19.5mm, 50g.

Este modelo apresentado é uma solução bastante viável, assegurando assim um bom custo-benefício, contudo já existem versões mais recente com especificações mais robustas o que leva a terem um custo superior [45]. No caso desta solução as características deste modelo são suficientes já que o Raspberry Pi 3B+ é utilizado como servidor onde foi criada a *interface* gráfica e estão guardadas algumas páginas PHP que auxiliam a mesma.

### 5.3 Montagem dos Componentes

A montagem e disposição dos componentes descritos anteriormente que deram vida ao sistema implementado, pode ser observada na Figura 5.11. O esquema elétrico deste sistema é apresentado na Figura B.1 do Apêndice C.

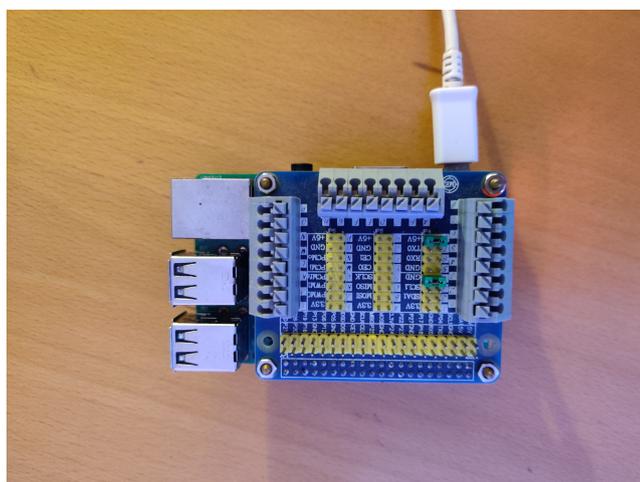
Através da Figura 5.11 é possível analisar o equipamento portátil desenvolvido e a enumeração dos componentes que o constituem, identificados de seguida:



**Figura 5.11:** Servidor local (Raspberry Pi 3B+) sem periféricos ligados.

- **Componente 1** - Pilhas 9V para alimentação do sensor Contrinex RLS-1181-020 RWM.
- **Componente 2** - Módulo RS485 MOD-RS485, descrito em 5.2.1.2.
- **Componente 3** - Placa de desenvolvimento ESP-12E, descrita em 5.2.1.1.
- **Componente 4** - Leitor Contrinex RLS-1183-020, descrito em 5.2.2.

O Raspberry Pi 3B+ utilizado como servidor local do sistema, onde está a correr a *interface* gráfica e estão guardadas páginas PHP e HTML que participam na comunicação entre camadas, é apresentado na Figura 5.12.



**Figura 5.12:** Servidor local (Raspberry Pi 3B+) sem periféricos ligados.

#### 5.4 Processamento na Implementação

Os componentes depois de montados foram programados de modo a atingir os objetivos propostos. Nos próximos três subcapítulos é descrito o processamento e a programação

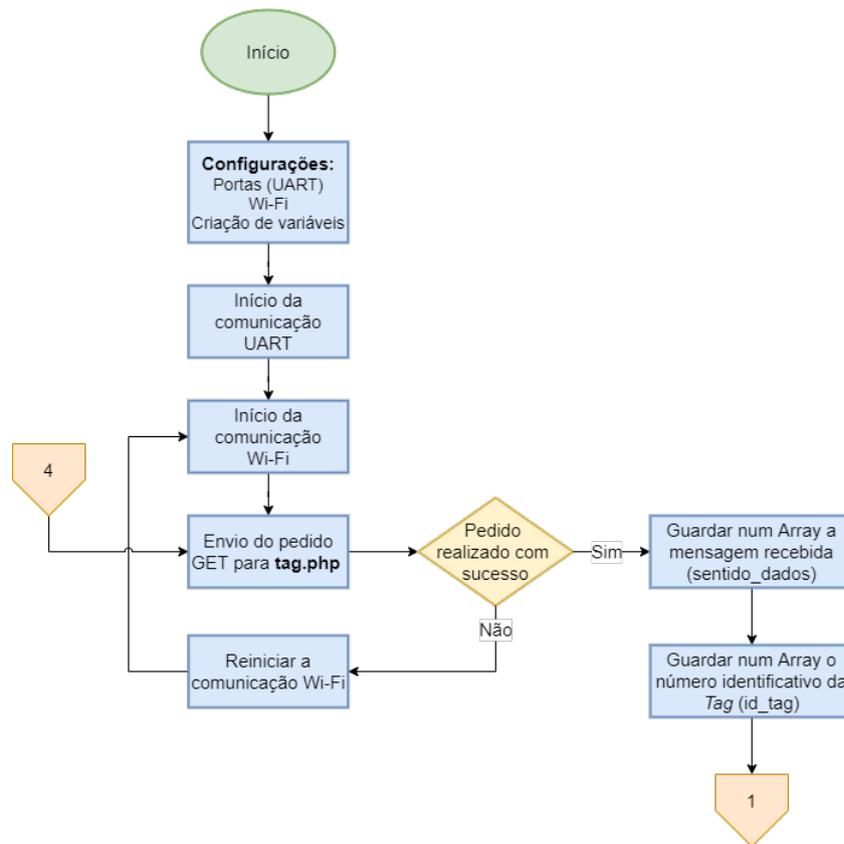
desenvolvida no módulo IoT (ESP8266), no servidor local (Raspberry Pi 3B+) e na *interface* gráfica *web* para ser possível conectar as mesmas.

#### 5.4.1 Processamento no ESP8266

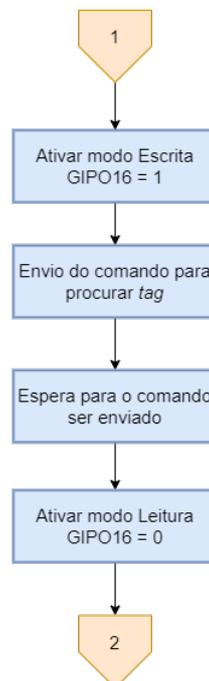
Como já foi mencionado o ESP8266 é responsável por conectar o sensor RFID (RWM) com o servidor local e conseqüentemente com a *interface* gráfica e com a base de dados. O processamento realizado no ESP8266 começa por definir algumas configurações. Nesta fase inicial são criados vários *arrays* com o objetivo de guardar as várias mensagens trocadas por todos os elementos do sistema. De seguida, é configurada a comunicação UART, onde são definidos os pinos RX e TX, e o *baudrate* da comunicação série, que neste caso assume o valor de 115200 bps. É também configurada a comunicação Wi-Fi de modo a ser possível conectar o ESP8266 à rede *wireless*, para isso é usado o *Service Set Identifier* (SSID) da rede e a respetiva senha. Após o microcontrolador se ligar à rede, conecta-se ao servidor local através do seu *Internet Protocol* (IP), assim o ESP8266 está pronto para comunicar com os ficheiros PHP presentes no servidor. Depois das configurações iniciais realizadas e a funcionar, é feito um pedido HTTP do tipo *GET* com o propósito de aceder à base de dados e recolher um número que posteriormente define se o sistema RFID está no modo de envio ou de receção. Este número é alterado através de um *switch* digital presente na página da interface gráfica apresentada na Figura B.9 do Apêndice B. O pedido em questão também retira o número identificativo do lote (*id\_tag*) criado após a extrusão que mais tarde no processamento, é enviado para uma *tag*. Esta fase inicial do processamento é representada pelo fluxograma da Figura 5.13.

Uma das partes cruciais deste processamento é a comunicação entre o ESP8266 e o RWM, em que o programa desenvolvido tem o objetivo de enviar o comando que verifica a presença de *tag* no campo do leitor. Este comando é enviado com intervalos de tempo na casa dos milissegundos para que sempre que uma *tag* entre no campo do leitor, esta seja identificada. Para o comando ser enviado, é necessário que o GPIO16 esteja definido a 1, o que foi definido na configuração inicial. De modo a que o comando seja enviado através da comunicação UART, é preciso estabelecer um tempo de espera (*delay*) já que essa comunicação não impede que o resto do código corra, o que pode levar a erros na compilação. O *delay* em questão tem de ser suficientemente longo para que todos os *bytes* da mensagem correspondente ao comando, sejam enviados com sucesso. Após essa mensagem ter sido enviada, o GPIO16 assume o valor 0 e o ESP8266 está pronto para receber as mensagens de resposta do leitor RFID. Esta fração do processamento pode ser observada através da Figura 5.14.

Na receção da mensagem de resposta, o microcontrolador está programado para verificar a mensagem *byte* a *byte* para confirmar que está completa e bem formulada. A primeira verificação passa por certificar se o valor do primeiro *byte* é 0x0F, que assinala o início da mensagem oriunda do RWM. Caso o *byte* tenha o valor previsto, o ESP8266 volta ao modo de espera para que seja possível receber mais *bytes*. No *byte* seguinte é esperado o endereço do RWM de onde a resposta teve origem. O terceiro *byte* é o endereço do destino da mensagem. Estando estes *bytes* verificados são recebidos os restantes até ao último, que deverá ter o



**Figura 5.13:** Configurações iniciais do processamento no ESP8266.



**Figura 5.14:** Processamento do ESP8266 ao iniciar o sistema RFID.

valor de 0x0F. Caso se confirme que o valor do último *byte* da mensagem é 0x0F, o programa prossegue com o cálculo do algoritmo de controlo de erro na transmissão de mensagem (CRC8). Se o valor calculado através do algoritmo for coincidente com o que consta na mensagem, a mensagem está completa e pronta para ser processada. Este processo de verificação está representado na Figura 5.15.

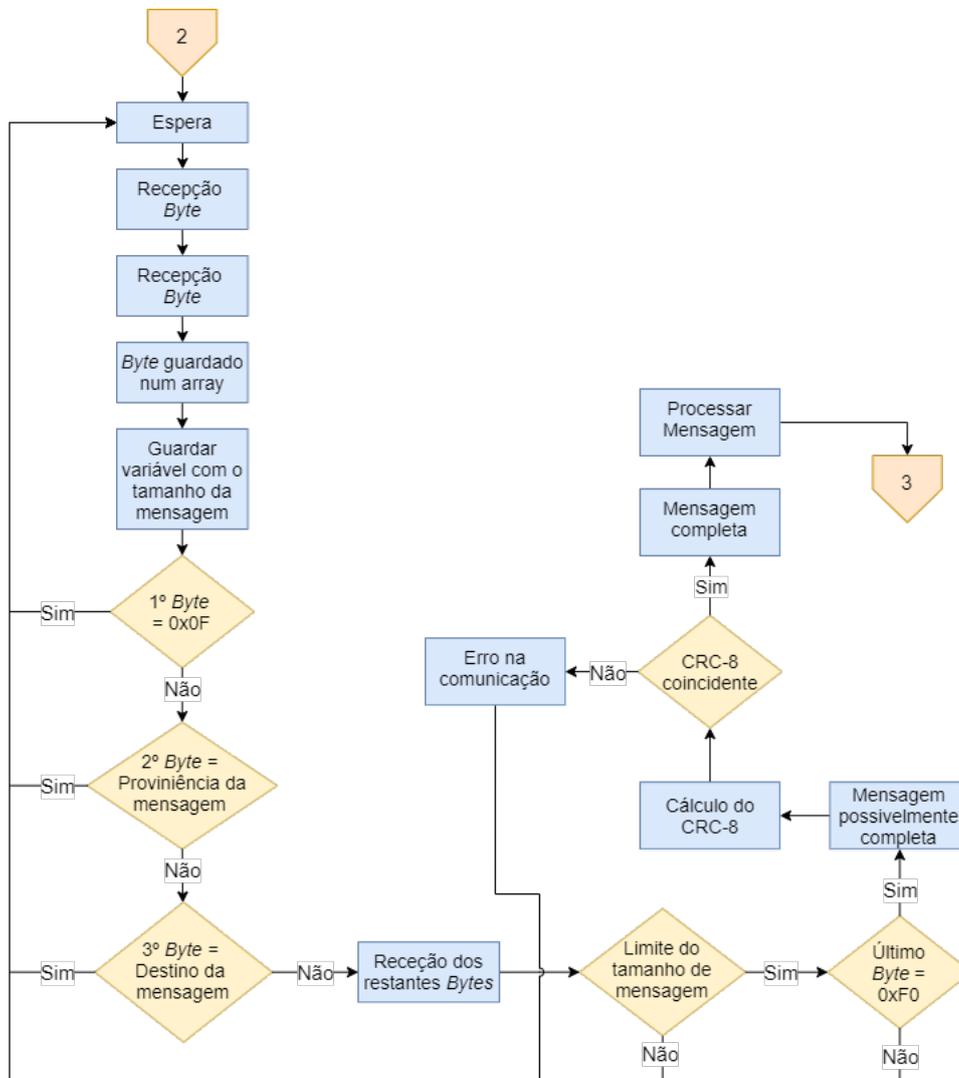


Figura 5.15: Verificação da mensagem recebida no ESP8266.

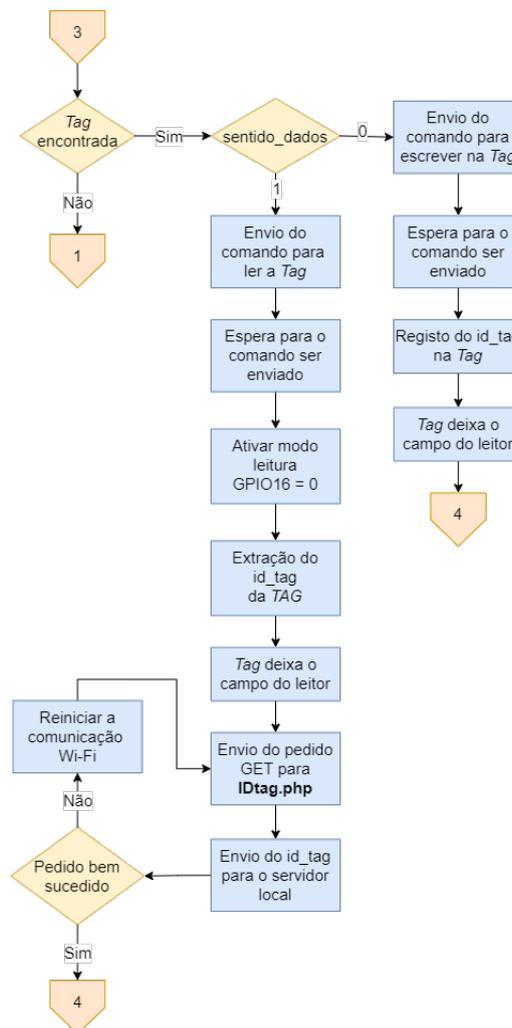
Uma vez que a mensagem recebida é válida, pode começar a ser analisada. Estando a mensagem recebida associada ao comando de procura de uma *tag* no campo do leitor, a resposta a esse comando confirma se existe ou não a presença da mesma. Se a resposta indicar que não existe a presença de uma *tag*, o programa entra em ciclo até encontrar uma. No caso de se confirmar a presença de uma *tag*, pode desenrolar um dos seguintes rumos:

- Se **sentido\_dados = 0** - neste caso o sistema RFID está em modo de escrita na *tag*. É com este modo ativado que se realiza o envio de um número identificativo de um lote (*id\_tag*) para a *tag* que posteriormente é associada a esse lote. Para realizar esse processo é enviado o comando de escrita na *tag* para o RWM. Após a escrita do *id\_tag*

na *tag*, esta pode deixar o campo do leitor e o programa volta para a etapa de verificação de nova *tag* registada no sistema.

- **Se sentido\_dados = 1** - esta condição indica que é definido na *interface* gráfica que o sistema RFID está no modo de receber dados da *tag*. É enviado o comando para o leitor com o objetivo de ler a informação presente na *tag*. Depois da leitura ter sido bem sucedida é realizado um pedido HTTP de modo a que o número identificativo da *tag* que por sua vez identifica o lote, seja enviado para o servidor local. Assim é possível identificar o lote e aceder às derivadas informações existentes sobre o mesmo que são apresentadas na *interface* gráfica.

Na Figura 5.16 pode ser observado as duas vertentes do sistema RFID.



**Figura 5.16:** Processamento após ser detetada ou não uma *tag*.

Este processamento no *middleware* é diferente do normal existente nos sistemas RFID devido a não se tratar de uma implementação numa linha de produção. Isto deve-se ao facto de esta solução apresentar um equipamento portátil para que seja possível a utilização do o sistema RFID quer no modo de escrita, como no modo de leitura em qualquer parte do chão de fábrica.

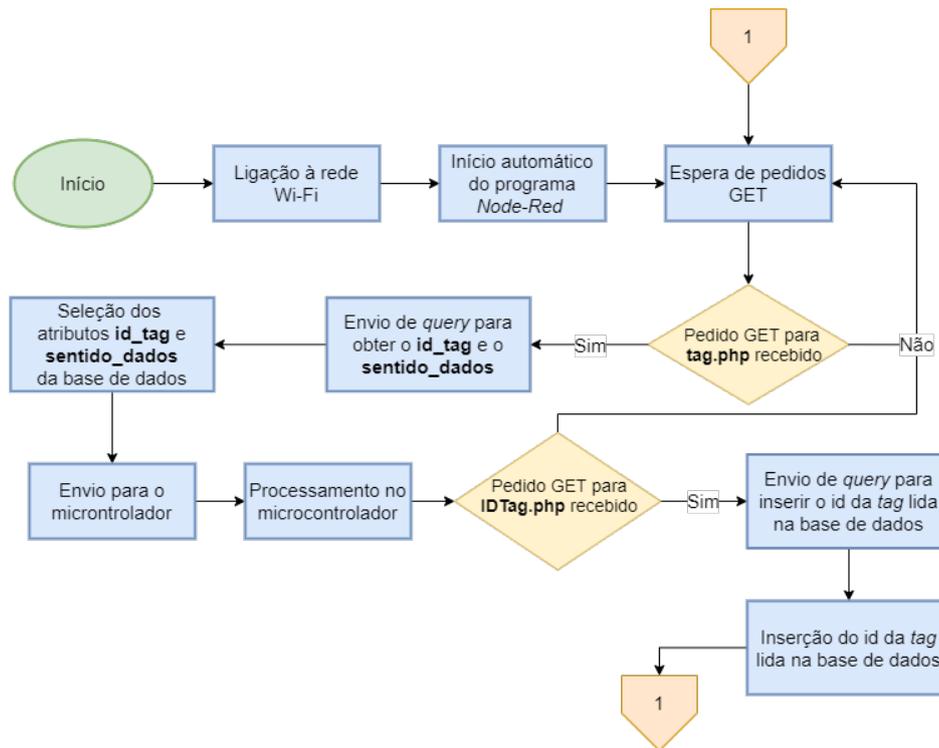
### 5.4.2 Processamento no Raspberry Pi 3B+

Como já foi referido anteriormente, o Raspberry Pi 3B+ é utilizado como servidor local na implementação deste sistema de rastreabilidade. Este contém o programa *Node-Red* e os ficheiros que auxiliam a *interface* gráfica. O programa *Node-Red* foi instalado de modo a iniciar automaticamente quando se liga o Raspberry Pi 3B+, o que faz com que a *interface* gráfica se ative também. Além de garantir o funcionamento da *interface* gráfica, Raspberry contém, como foi dito anteriormente, os ficheiros/páginas PHP responsáveis por assegurar a comunicação entre o microcontrolador e a base de dados.

De modo a ser possível atribuir a função de servidor local, foi instalado no Raspberry Pi 3B+ o XAMPP que é um pacote de servidores onde se destaca o Apache, servidor *web* do tipo HTTP, a base de dados MySQL e o phpMyAdmin, todos utilizados nesta implementação. O XAMPP também está programado para iniciar com o arranque do Raspberry, ativando assim o servidor Apache e a base de dados MySQL, já o phpMyAdmin é utilizado para controlar a base de dados MySQL. Estas configurações são todas realizadas à medida que o Raspberry vai arrancando, e após estarem prontas, este fica a aguardar pedidos HTTP vindos do microcontrolador. O primeiro pedido está relacionado com o recolher do número identificativo da *tag* (*id\_tag*) e de um atributo auxiliar(*sentido\_dados*), ambos retirados através de um pedido GET para a página "tag.php". A importância destes dois atributos está associada ao funcionamento e processamento do microcontrolador. O segundo pedido é também do tipo GET, efetuado quando é ativado o modo de leitura e é necessário enviar o número de identificação da *tag* lido para a base de dados e posteriormente para a *interface* gráfica. Este pedido é direcionado para a página "IDTag.php". Assim sempre que for realizado um pedido HTTP relacionado com essas páginas PHP ("tag.php" e "IDTag.php"), é enviada uma *query* para a base de dados consoante a página que é solicitada e a sua respetiva função (retirar ou inserir dados respetivamente). Na Figura 5.17 é possível observar o fluxograma representativo do processamento no servidor local.

Excluindo essas duas páginas referidas anteriormente, existem outras páginas presentes no servidor local:

- **InicialPage.html** - contém o código em HTML e CSS, que dá origem à página inicial da *interface* gráfica *web* e possibilita a sua utilização.
- **registo.php** - na primeira utilização da *interface* é necessário efetuar um registo por parte do colaborador, onde é requerido o número de colaborador e uma senha de acesso. O registo dessas informações é realizado através de um pedido POST à página PHP em análise, deste modo é executada uma *query* que envia esses dados para a base de dados, com o objetivo de serem comparados no *login* do colaborador.
- **login.php** - esta página é alvo de um pedido POST quando é efetuado o *login* na página inicial *web* da *interface* gráfica. Tem o objetivo de enviar uma *query* e retirar o número de colaborador e a sua senha da base de dados, fazendo a respetiva verificação da mesma conforme os dados inseridos no registo do colaborador na *interface* gráfica. Se os dados inseridos no *login* forem iguais aos registados anteriormente, o utilizador é



**Figura 5.17:** Processamento após ser detetada ou não uma *tag*.

reencaminhado para a parte da *interface* gráfica relativa ao programa *Node-Red*, onde é possível interagir e realizar vários registos e observações de dados. No caso dos dados inseridos no *login* forem diferentes, aparece uma mensagem de erro no canto superior esquerdo. É assim que é possível posteriormente, associar os registos ao colaborador que os efetuou.

Estas três páginas dão origem e controlam a página inicial da *interface* gráfica descrita na próxima secção e apresentada na Figura B.1 do Apêndice B.

### 5.4.3 Processamento na Interface Gráfica

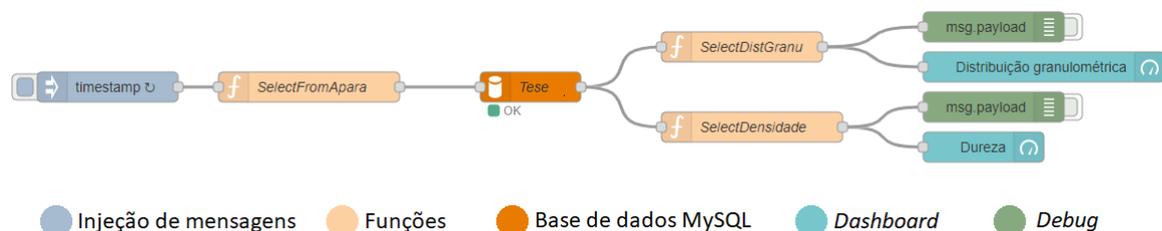
A interface gráfica consiste numa a página *web* inicial, onde os utilizadores podem realizar o registo com os seus dados da empresa e posteriormente fazer o *log-in* que dá acesso a outra página com vários intuitos.

Primeiramente, no desenvolvimento da página inicial foram utilizadas várias linguagens *web*, de onde se destacam o HTML, o CSS e o PHP. Os ficheiros HTML e CSS são responsáveis pelo aspecto da página enquanto os ficheiros PHP estão encarregues de fazer a comunicação com a base de dados através do auxílio da linguagem *MySQL* e das respetivas *queries*. Esta página *web* inicial é apresentada na Figura B.1 do Apêndice B.

Após ser realizado o registo e respetivo *log-in* na página inicial da *interface* gráfica o utilizador é encaminhado para outra página *web*. No caso desta página, recorreu-se à ferramenta de programação *Node-Red* para o seu desenvolvimento. Como foi explicado na secção 3.5, este programa baseia-se na conexão de *nodes* com várias funções que, dependendo

da maneira que são interligados, originam várias ações. De modo a criar esta página foram utilizados vários conjuntos de *nodes* de onde se destacam os do grupo *dashboard Node-Red*, os *nodes* referentes à criação de funções, à injeção de mensagens de vários tipos e os que realizam a conexão à base de dados *MySQL*.

De modo a compreender o desenvolvimento desta página da interface gráfica, é apresentada na Figura 5.18 um exemplo de uma *flow* com vários tipos de *nodes* ligados entre si. Através da legenda dessa Figura são facilmente identificados os tipos de *nodes* nela presentes. Esta *flow* tem o objetivo de recolher valores guardados da base de dados *MySQL* e apresentá-los em *gauges* informativos. Como foi descrito na secção 3.5, a informação que circula entre *nodes* pertence a um objeto *JavaScript* chamado de *msg* e dentro da sua propriedade *payload* está a informação que se pretende transmitir. Assim o *node* de injeção pode transmitir vários tipos de mensagens, como *strings*, números e o mais comum um *timestamp*, que tem a finalidade de accionar a *flow* automaticamente em intervalos temporais definidos. Esse *timestamp* faz com que seja ativado o primeiro *node* de funções, que neste caso contém uma função, em linguagem *MySQL*, com o intuito de extrair várias informações da base de dados. O *node* correspondente à base de dados *MySQL* tem as credenciais necessárias para realizar a comunicação com a base de dados, como o endereço de IP do servidor, a porta, o nome e a senha de acesso à mesma. O resultado da seleção é encaminhado para dois *nodes* de funções, que permitem dividir a mensagem recebida da base de dados consoante o que é pretendido. Após essa separação os valores são transmitidos para dois *nodes* do grupo *dashboard* de modo a serem criados os elementos gráficos da *interface web*.



**Figura 5.18:** Exemplo de uma *flow* criada no *Node-Red*.

Os *nodes* da Figura 5.18 podem ser substituídos por outros conforme o que for pretendido. Um dos *nodes* mais utilizados foram os que dão origem a um elemento gráfico do tipo de inserção de texto. Estes *nodes*, onde podem ser inseridos os valores das propriedades, estão associados a um *node* de funções, que tem a capacidade de criar variáveis globais podendo serem utilizadas em outros *nodes*. Normalmente o registo destes valores na base de dados é feito de forma semelhante à *flow* representada na Figura 5.18, contudo a função de selecionar passa a ser de inserir. No caso do registo de valores os *nodes* de injeção de *timestamps* são trocados por *nodes* da *dashboard*, mais precisamente os que originam botões digitais presentes da interface gráfica. Este tipo de *flow* está representado na Figura 5.19.

Esta página criada através do *Node-Red* adapta-se a vários tamanhos de ecrã, ou seja pode ser acedida através de um computador, tablet ou smartphone, sem existir desformatação do *layout* da página. A página da interface gráfica em análise está subdivida em 6 *tabs* explicadas

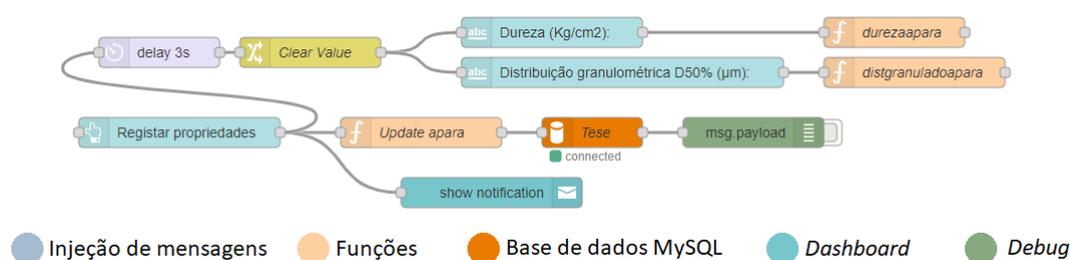


Figura 5.19: Exemplo de uma *flow* criada no *Node-Red*.

de seguida:

- **Tab Entrada de Materiais** - esta *tab* é onde são registados as informações acerca da matéria prima que entra no armazém da empresa, como o número de fornecedor, o número do pedido, o número do item associado ao pedido, a data do documento do pedido, o material e a quantidade de matéria prima que entra no armazém. Estas informações são inseridas no local apropriado e submetidas através de um botão digital, enviando-as para a base de dados. A *tab* Entrada de Materiais é apresentada na Figura B.2 no Apêndice B.
- **Tab Registo de Propriedades** - representada na Figura 5.20, contém vários *inputs* onde são inseridos os valores das respetivas propriedades na etapa de produção em estudo, são também exibidas algumas informações sobre a matéria prima que está a ser utilizada na produção, como o número de fornecedor, pedido e do item do pedido, e vários botões para registar os valores inseridos na base de dados.

Controlo de Qualidade - Roller PT004BA				
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Entrada de Materiais</li> <li>☑ Registo de Propriedades</li> <li>📄 Tabelas</li> <li>📊 Gráficos</li> <li>📍 Identificação da Paleta</li> <li>📁 Controlo da TAG</li> </ul>	<b>Matéria prima de:</b> Número do Fornecedor: <b>80</b> Número do Pedido: <b>80</b> Item do Pedido: <b>80</b>	<b>Recepção de pasta Líquida PT004BA:</b> Densidade recepção (g/l): Distribuição granulométrica D50% (µm): Dureza (Kg/cm2): Resistência mecânica seco (Kg/cm2): Resistência mecânica chacote (Kg/cm2): Resistência mecânica cozido (Kg/cm2): REGISTAR PROPRIEDADES	<b>Preparação de pasta PT004BA com aparas:</b> Distribuição granulométrica D50% (µm): Dureza (Kg/cm2): REGISTAR PROPRIEDADES	<b>Caracterização pasta extrudida PT004BA:</b> ID TAG: Dureza 1ª extrusão (Kg/cm2): Percentagem de H2O%: Resistência mecânica seco (Kg/cm2): Resistência mecânica chacote (Kg/cm2): Resistência mecânica cozido (Kg/cm2): REGISTAR PROPRIEDADES ID da Tag acabada de registar: <b>21</b>

Figura 5.20: *Tab* do registo de propriedades.

- **Tab Tabelas** - esta *tab* contém as tabelas com todas informações relevantes para a empresa, todos os valores das propriedades assim como a hora e data a que foram registados. Neste caso são três tabelas relativas às três etapas onde são analisadas as amostras de pasta (na recepção da materia prima, na preparação da pasta com apara e após a extrusão). Nesta *tab* também é possível extrair dados da base de dados para

um ficheiro *Excel*, que é enviado por mail para o colaborador que efetua o seu pedido. Para realizar esse pedido é necessário definir a data de início e fim para as quais serão extraídos os valores das propriedades, e posteriormente pressionar o botão "Criar". Esta *tab* é apresentada na Figura B.4 do Apêndice B.

- **Tab Gráficos** - *tab* dedicada à representação de gráficos com várias informações. Neste caso são exibidos quatro gráficos, um acerca da evolução da distribuição granulométrica D50%, e os três restantes relativos à produção diária, semanal e mensal dos lotes. Esta *tab* está exposta na Figura 5.21

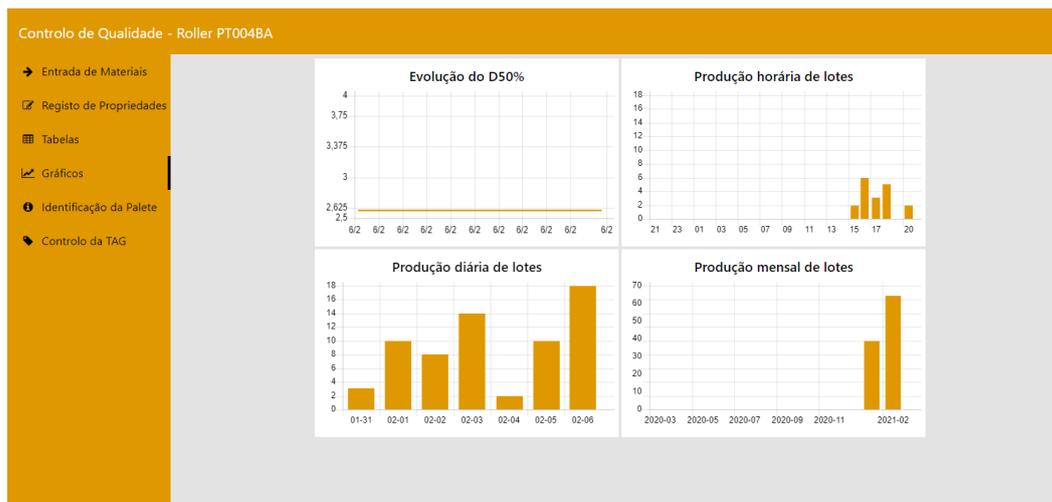
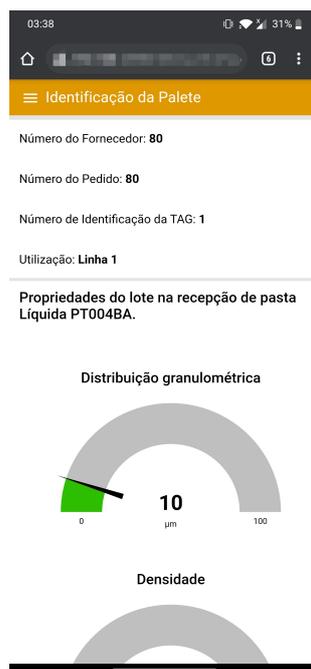


Figura 5.21: *Tab* de gráficos com a informação relevante.

- **Tab Identificação da Paleta** - a *tab* retratada na Figura 5.22 tem como objetivo apresentar e monitorizar os lotes através das suas respetivas *tags*. Esta *tab* é maioritariamente constituída por *gauges* que após ser lida a *tag* pretendida, apresentam todas as propriedades de todas as etapas de produção desse lote, isto é, as propriedades da pasta na etapa da receção, preparação com aparas e extrudida. Deste modo é possível através das cores dos *gauges*, verificar se alguma das propriedades está fora dos valores normais. Como é possível observar pela Figura 5.22, esta *tab* foi acedida através de um *smartphone*.
- **Tab Controlo da TAG** - nesta *tab* são oferecidos os controlos digitais do sistema RFID. É nesta *tab* que se cria a *tag* após a extrusão que será associada ao lote produzido, altera o sentido do fluxo de dados do sistema RFID, verifica a presença de uma *tag* através de um aviso luminoso e, por fim, associa os lotes a uma linha de produção quando estes forem utilizados. A *tab* Controlo da TAG é apresentada na Figura B.9 do Apêndice B.

Realçar a aparição de notificações na *interface* gráfica no momento de registo das propriedades. Estas notificações são pequenas janelas *pop-up* e têm o objetivo de avisar o utilizador do registo correto ou incorreto das propriedades. No canto superior esquerdo da Figura B.3 do Apêndice B, é possível observar o alerta de erro no registo efetuado ao contrário da Figura B.2 do Apêndice B, onde está presente o aviso de registo efetuado com sucesso. As notificações de erro estão associadas ao registo incorreto das propriedades, como por exemplo, não registar



**Figura 5.22:** *Tab* de identificação das propriedades associadas a uma determinada *tag* acedida por um *smartphone*.

uma delas numa determinada etapa ou a dimensão dos valores não ser a correta. Referir também, que quando é efetuado o registo da chegada de nova matéria prima ao armazém, é enviado um *email* ao colaborador encarregue de realizar os testes à pasta na receção, a informar que já é possível recolher uma amostra de pasta, para que possa ser analisada e posteriormente inserir os valores resultantes na etapa em questão (receção de pasta líquida). Estes avisos também aparecem quando a *interface* gráfica é acedida em outros dispositivos, tanto em *smartphones* como em *tablets*. Por fim, mencionar que a forma de utilização da *interface* gráfica criada é explicada ao longo do Apêndice B.

## 5.5 Interação com o ERP

A Vista Alegre utiliza um ERP desenvolvido pela SAP SE que é uma empresa de origem alemã, que cria *softwares* de gestão de empresas. O sistema SAP é um sistema computacional que permite às empresas gerir corretamente os seus recursos humanos, logística, inventários, entre outros. No caso deste projeto foi proposto comunicar e enviar para o ERP o registo de entrada de matéria prima com diversas informações associadas, como o número de fornecedor, o número do pedido, o item do pedido, a data do pedido e da chegada da matéria prima e a sua quantidade. Para realizar essa comunicação foi utilizado o SAP *Business Application Programming Interface* (BAPI), que é uma interface padrão para os modelos de objetos de negócios em produtos SAP. Os BAPIs são o método principal utilizado na interação entre o código do cliente e os aplicativos de terceiros com os produtos SAP. Os BAPIs envolvem as camadas internas do modelo de objeto de negócios da SAP para garantir que todos os processos de negócios, validações e verificações de autorização sejam executadas corretamente

quando os objetos de negócios são acedidos ou alterados. Estes BAPIs são implementados como módulos de funções que chamam o código interno SAP. Dependendo de qual é usado, eles podem chamar modelos de objetos de negócios definidos usando o *Business Objects Processing Framework* (BOPF) ou modelos definidos usando programas, tabelas e módulos de funções. Neste caso em específico recorreu-se ao BAPI muito utilizado na gestão de inventários denominado BAPI\_GOODSMVT [46], [47].

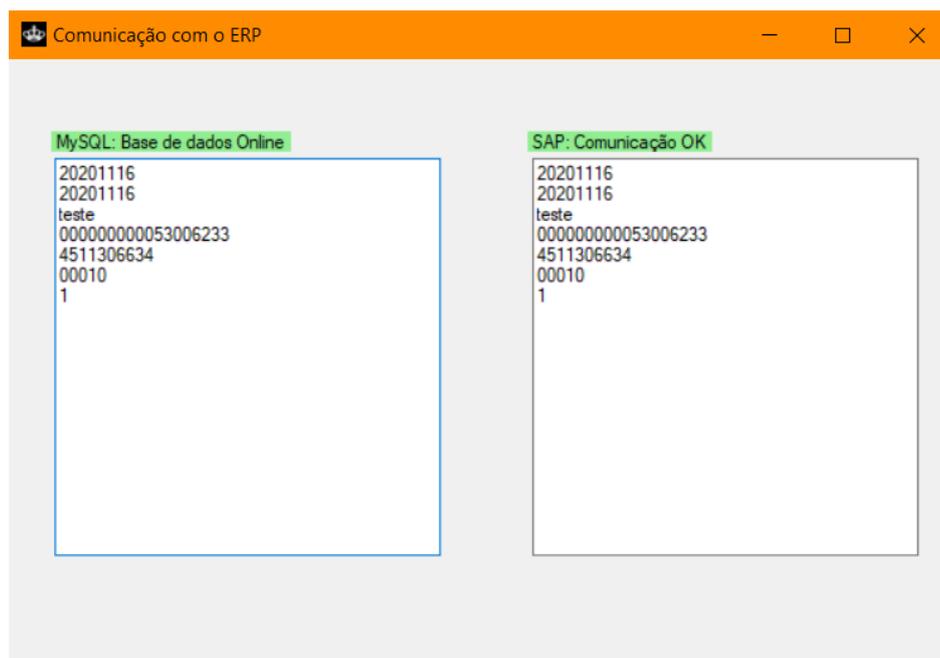
Para realizar esta comunicação com o ERP da empresa foi desenvolvido um programa em Visual Basic, que é a linguagem utilizada pela Vista Alegre. Este programa começa por aceder à base de dados presente no servidor local, de onde vai retirar os dados que irão ser enviados para o ERP, nomeadamente os atributos da tabela "erp" apresentada na Figura 4.17 da secção 4.3.2. Após a ligação ser estabelecida e os dados retirados, é efectuada a comunicação com o SAP BAPI. De modo a que essa comunicação tenha sucesso é necessário definir vários parâmetros do utilizador como o cliente, utilizador, senha, linguagem, nome do *host*, entre outros. Após a ligação ser efetuada é preciso especificar o tipo de BAPI que vai ser usado, que neste caso é o objeto BAPI\_GOODSMVT. As seguintes informações sobre o documento associado à entrada matéria prima, enviadas ao BAPI são:

- Uma estrutura com os dados do cabeçalho do documento.
- Uma estrutura com o código do movimento.
- Uma tabela com os dados da matéria prima.

Neste caso o código movimento é o "01" que está relacionado com o recepção de matéria prima derivada de um pedido de compra. Este código de movimento necessita do preenchimento de vários parâmetros das estruturas e tabela mencionadas anteriormente, relativos ao documento do pedido de compra, apresentados de seguida:

- Número da pedido de compra.
- Número do item de pedido de compra.
- Tipo de movimento.\*
- Indicador de movimento.\*
- Quantidade material.
- Data do documento.
- Data de publicação do documento.
- Número do fornecedor.
- Código do material.
- Código de planta.\*

Os parâmetros assinalados (\*) têm valores constantes, já os restantes são preenchidos com os valores recolhidos da base de dados *MySQL* de forma a serem correlacionados corretamente. Após essa associação é chamada a função que envia esses parâmetros para o ERP. Na Figura 5.23 está representado a *interface* do programa criado em Visual Basic com os valores de um teste realizado na empresa, onde é possível observar à esquerda os valores recolhidos da base de dados e à direita os valores enviados para o SAP BAPI.



**Figura 5.23:** Programa de comunicação com o SAP.

Mencionar que esta *interface* VB não está a ser executada no servidor local, contudo pode ser devidamente instalada num computador e ser executada normalmente à distância de um clique. Para utilizar este programa basta executar e esperar que a comunicação, quer com a base de dados, quer com ERP seja bem sucedida.



---

## Capítulo 6

# Análise de Resultados e Conclusões

---

### 6.1 Conclusões gerais

A rastreabilidade assume um papel muito importante na organização e monitorização dos produtos na maior parte das empresas, e a Vista Alegre não é uma excepção. A possibilidade de se conhecer os detalhes dos produtos, desde a localização até às propriedades mecânicas, é uma mais valia para qualquer empresa que consiga extrair o máximo desses sistemas. No caso específico da Vista Alegre, a maior razão para a implementação de um sistema de rastreabilidade, está diretamente relacionado com a necessidade de registar certas informações ligadas à entrada de matéria prima em armazém e com o controlo da qualidade da mesma, que dá origem a vários dos produtos fabricados. A supervisão e monitorização da qualidade da matéria prima, permite verificar em tempo real os valores das propriedades da matéria prima, o que faz com que seja possível controlar a qualidade da mesma. A integração deste tipo de sistemas nas empresas, é associada aos avanços da Indústria 4.0, que com o apoio de várias tecnologias como a IoT e a CPS torna possível a criação de *smart factories* e *smart objects*. Este tipo de objetos são extremamente importantes devido a usufruírem da capacidade de guardar informações sobre os mesmos.

É neste contexto que surgem as tecnologias AIDC, onde se destaca a tecnologia RFID. Esta tecnologia é apontada como sucessora dos códigos de barras, e apesar de ser bastante utilizada e de continuar a ser alvo de estudos e constantes evoluções, é caracterizada por ter um enorme potencial. Isso deve-se à sua capacidade de guardar uma grande quantidade de dados nas *tags* e da sua comunicação ser efetuada sem haver contacto e sem a necessidade de uma linha de visão entre o leitor e a *tag*. Também já é possível ler variadas *tags* ao mesmo tempo e com as antenas mais desenvolvidas, realizar a comunicação a distâncias consideráveis. Normalmente estes sistemas que usufruem da tecnologia RFID, estão associados a linhas de produção constantes em que são implementados leitores nas várias etapas das mesmas, o que

permite realizar a identificação de forma automatizada. No entanto, no caso deste projeto, não estava perante uma linha de produção o que levou a uma abordagem diferente na aplicação da tecnologia RFID.

Assim, desenvolveu-se um sistema portátil que vai de encontro com a monitorização da matéria prima da Vista Alegre, possibilitando o registo de informações relevantes, relacionadas com a chegada de matéria prima, no ERP da empresa. Permite também, o registo dos valores das propriedades da pasta, retirados de várias análises laboratoriais em três etapas diferentes da produção da mesma e a sua posterior associação, aos lotes utilizados para desenvolver os produtos através das *tags* RFID. Estas funções podem ser executadas através de uma *interface* gráfica *web* que, também apresenta variadas informações com o auxílio de gráficos e tabelas.

O módulo IoT desenvolvido, descrito em 5.2.1, revelou-se uma solução viável, eficaz e de baixo custo (o ESP-12E e MOD-RS485 têm um custo total de cerca de 10€), que ligado fisicamente ao leitor RFID, tem a capacidade de captar e processar o número identificativo das *tags*. O facto ter a potencialidade de se conectar a redes Wi-Fi, permite transmitir a informação para outros dispositivos que a conseguem interpretar e interagir com as camadas mais altas do sistema, como a bases de dados.

Como servidor local, o Raspberry Pi 3B+ permite realizar a interação com a base de dados, através de um programa desenvolvido com o auxílio da ferramenta *Node-Red*. Este mini computador demonstrou ser adequado para o processamento nele realizado, o que indica que é uma boa solução quando comparado com servidores empresariais bastantes mais caros. Este equipamento tem um custo relativamente baixo, quer em preço (perto de 35€), como no consumo de energia elétrica. Existem versões de Raspberrys mais recentes e com melhor *benchmarks*, no entanto o custo do equipamento é diretamente proporcional ao seu desempenho.

É também no Raspberry Pi que reside a *interface* gráfica *web* que é fundamental para o bom funcionamento deste sistema. É na *interface* gráfica que os colaboradores podem registar os dados relevantes relacionados com a chegada de nova matéria prima à empresa e os valores das propriedades resultantes de análises laboratoriais à pasta. Possibilita também a visualização de gráficos e tabelas associados a esses valores, de modo a ser possível realizar uma monitorização dos mesmos, e ao controlo da produção dos lotes em vários espaços temporais. A criação de ficheiros *Excel* com os valores das propriedades de extrusão também podem ser criados através desta *interface* gráfica *web*. Uma das maiores vantagens destas *interfaces* é a possibilidade de serem acedidas através de diferentes dispositivos móveis como *smartphones* ou *tablets*, sem que os elementos gráficos e o *layout* se alterem com diferentes resoluções de ecrã.

A base de dados *MySQL* desenvolvida com o auxílio dos diagramas de entidade-relação, cujas relações entre as diferentes entidades foram normalizadas o que se traduziu nas tabelas criadas. Foram criadas ao todo 7 tabelas na base de dados, que cumpriram as necessidades deste projeto, guardando todas as informações relevantes para a empresa.

A interação com o ERP da empresa era um dos pontos principais do projeto e foi concretizado com sucesso. Esta interação era baseada em recolher da base de dados *MySQL* e

enviar as informações relacionadas com a entrada de matéria prima para o SAP e foi testada com sucesso na empresa.

A comunicação entre o ESP-12E e o sensor RFID foi implementada com sucesso, incorporando a capacidade de alternar entre o modo de envio e de leitura consoante a necessidade do utilizador. A tecnologia RFID mostrou ser uma boa opção para este tipo de sistemas, visto que as *tags* têm uma boa capacidade de memória. Esta secção do sistema de rastreabilidade não foi testada no chão de fábrica da Vista Alegre, contudo a única variável que mudava era a conexão à rede que teria que ser criada através de um *hotspot* (ponto de acesso Wi-Fi) de um *smartphone*. Isto deve-se às regras internas da Vista Alegre alheias ao projeto. No entanto, a conexão a um *hotspot* foi testada em ambiente de laboratório e não houve problemas a registar. Para realizar a implementação no chão de fábrica, bastaria atribuir uma *tag* a cada lote de matéria prima.

## 6.2 Desempenho

No que diz respeito ao desempenho do *hardware* e do *software*, ambos foram bastante utilizados e testados ao longo do desenvolvimento deste projeto, com mais intensidade nas últimas semanas, durante dias inteiros sem paragens. Começando da camada superior, o Raspberry Pi 3B+ apresentou um bom desempenho ao longo do projeto, mesmo quando tinha vários programas abertos e ao mesmo tempo instalações de programas a serem efetuadas. Durante a sua utilização este equipamento foi conectado a várias redes Wi-Fi, tanto de frequências de 2.6 GHz como de 5 GHz, bem como a um *hotspot* criado através de um *smartphone*. Também foi testada a conexão por *ethernet* (cabo de rede) e não se notou um melhoramento significativo na utilização da *interface* gráfica e da base de dados.

O módulo IoT desenvolvido foi também testado ao nível da conexão *wireless*, com a ligação a várias redes, destacando-se também a rede criada através do *hotspot* do *smartphone*. A transmissão de dados para a camada superior ocorreu de forma ordeira e sem perda de informação, contudo referir que o módulo Wi-Fi do ESP-12E não tem tanto alcance como o do Raspberry, o que às vezes fazia com que se perdesse a ligação à rede. Nestas ocorrências, através da observação de mensagens de *debug* apresentadas no monitor série do *Arduino IDE*, foi possível perceber que quando o microcontrolador captava novamente a rede *wireless*, reconectava-se imediatamente. Já na comunicação com o leitor RFID não houve quaisquer problemas a registar.

Mencionar que durante a utilização de ambos os equipamentos houve uma situação fora do comum, mais concretamente, uma falha de energia devido à meteorologia. Esta situação originou o encerramento forçado do Raspberry que, quando a voltou a haver energia, teve a capacidade de se ativar e conectar à rede Wi-Fi sem problemas. Não houve qualquer tipo de perda de informação, contudo os gráficos associados à produção de lotes, deixaram de apresentar o número de lotes criados nos dias anteriores ao problema. No caso do módulo IoT, esta situação não teve impacto já que o microcontrolador estava conectado, neste caso ao computador portátil e o leitor RFID tem alimentação a pilhas.

Em suma, o sistema no seu todo revelou-se viável e intuitivo, porém é importante reforçar que a portabilidade do sistema devia ser testado num período mais longo, de modo a testar a sua eficiência, eficácia e autonomia em ambiente industrial. Ainda assim o sistema desenvolvido neste projeto podia ser melhorado de várias maneiras, explicadas na secção 6.3.

### 6.3 Melhorias e Trabalhos Futuros

A solução criada, apesar de cumprir os objetivos, tem várias limitações e pode ser melhorada e otimizada em vários aspetos. Primeiramente, o equipamento portátil RFID da solução é um protótipo visto que não foi implementado na secção da produção em que este projeto é baseado. Outra limitação passa pelo registo das propriedades nas três etapas analisadas, que só poder ser efetuado quando existe entrada de nova matéria prima na empresa, isto é, se for necessário realizar outra análise laboratorial à pasta, sem ter havido entrada de matéria prima e os resultados forem diferentes dos anteriores, o sistema assume esses novos valores para todos os lotes que foram criados após a entrada de matéria prima.

A limitação principal resulta do facto do programa que envia as informações sobre a entrada de matéria prima na empresa, não ser compatível com o sistema operativo do Raspberry Pi 3B+. O insucesso da implementação desse programa no Raspberry deve-se à complexidade da mesma. Para realizar a comunicação com o ERP foi necessário instalar programas fornecidos pela SAP à Vista Alegre, que são específicos para *Windows*. No entanto um dos melhoramentos deste projeto pode passar por efetuar essa transição para o *linux*, de modo a ser possível a sua utilização em equipamentos que o utilizem.

Neste sentido, os principais rumos a seguir para otimizar e melhorar este projeto são os seguintes:

- **Otimização das dimensões do sistema portátil** - a redução das dimensões do equipamento utilizado para fazer a leitura e registo nas *tags*, pode ser reduzido com a elaboração de uma placa *Printed Circuit Board* (PCB) onde podem ser integrados o ESP-12E e o MOD-RS485, excluindo assim a placa branca e os cabos do sistema.
- **Utilização de *smart labels*** - a substituição das *tags* utilizadas neste projeto por *smart labels* é intuitiva, devido a ser mais fácil aplicar esse tipo de *tags* ao lote. A esta alteração está associada a mudança também do leitor RFID para que seja possível ler as *smart labels*.
- **Implementação do sistema no robô paletizador** - passa por fazer com que o robô paletizador conseguisse atribuir as *tags* às paletes criadas de forma autónoma. Deste modo a realização dessa tarefa passava a ser da responsabilidade do robô o que diminuía o tempo da mesma.
- **Aumento da informação disponibilizada na *interface*** - existem várias propriedades que não foram dadas como relevantes mas que podem ser alvo de uma apresentação gráfica na interface, isto é, aumentar a variedade de informações sobre o chão de fábrica, que são apresentadas na *interface* gráfica *web*.

---

# Bibliografia

---

- [1] M. Rußmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus e M. Harnisch, «Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries», p. 14, 2015.
- [2] B. Ślusarczyk, «Industry 4.0 – Are we ready?», *Polish Journal of Management Studies*, vol. 17, n.º 1, p. 17, 2018.
- [3] S. F. Konigs, G. Beier, A. Figge e R. Stark, «Traceability in Systems Engineering – Review of Industrial Practices, State-of-the-Art Technologies and New Research Solutions», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, n.º 4, pp. 924–40, 2012. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.08.002> (acedido em 17/04/2020).
- [4] Y.-S. Kang e Y.-H. Lee, «Development of Generic RFID Traceability Services», *Computers in Industry*, vol. 64, n.º 5, pp. 609–623, 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.03.004> (acedido em 14/04/2020).
- [5] *Vista Alegre: Porcelana, Cristal desde 1824*. URL: <https://vistaalegre.com/pt/> (acedido em 03/03/2020).
- [6] P. Milheiro, «Aplicação de metodologias Lean nas prensas isostáticas da Vista Alegre», tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2011.
- [7] B. Kvarnstrom e P. Oghazi, «Methods for Traceability in Continuous Processes—Experience from an Iron Ore Refinement Process», *Minerals Engineering*, vol. 21, n.º 10, pp. 720–30, 2008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.02.002> (acedido em 14/04/2020).
- [8] I. Toyryla, «Realising the Potencial of traceability- A case study research on usage and impacts of product traceability», tese de doutoramento, Universidade Tecnológica de Helsínquia, Espoo, Finlândia, 1999.
- [9] GS1, «The GS1 Traceability Standard: what you need to know», 2006. URL: [https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/traceability/GS1\\_Global\\_Traceability\\_Standard\\_i2.pdf](https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/traceability/GS1_Global_Traceability_Standard_i2.pdf) (acedido em 05/05/2020).
- [10] D. Rocha, «Proposta de um sistema automático de rastreabilidade na indústria 4.0», tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2018.
- [11] G. Aiello, M. Enea e C. Muriana, «The Expected Value of the Traceability Information», *European Journal of Operational Research*, vol. 244, n.º 1, pp. 176–86, 2015. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.028> (acedido em 05/05/2020).
- [12] D. Asioli, A. Boecker e M. Canavari, «Perceived Traceability Costs and Benefits in the Italian Fisheries Supply Chain», *International Journal on Food System Dynamics*, vol. 2, n.º 4, pp. 340–56, 2011.
- [13] G. Nishantha, M. Wanniarachchige e S. Jehan, «A pragmatic approach to traceability in food supply chains», em *The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, IEEE, vol. 2, 2010, pp. 1445–50.

- [14] M. Khabbazi, M. Yusof Ismail, N. Ismail e S. Mousavi, «Modeling of Traceability Information System for Material Flow Control Data», *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, n.º 2, pp. 208–216, 2010, ISSN: 1991-8178.
- [15] C. Santos, A. Mehrsai, A. C. Barros, M. Araújo e E. Ares, «Towards Industry 4.0: An Overview of European Strategic Roadmaps», *Procedia Manufacturing, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017*, vol. 13, pp. 972–79, 2017, ISSN: 2351-9789. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093> (acedido em 11/05/2020).
- [16] M. Kotýnková, «Industry 4.0: Europe’s (re)industrialisation need a global level», em *16 th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences*, INSInet, vol. 13, 2017, pp. 972–79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093> (acedido em 12/05/2020).
- [17] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz e N. S. T., «Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review», *Engineering*, vol. 3, n.º 5, pp. 616–30, 2017, ISSN: 2095-8099. URL: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015> (acedido em 18/05/2020).
- [18] V. Roblek, M. Maja e A. Krapez, «A Complex View of Industry 4.0», *SAGE Open*, vol. 6, n.º 2, 2016, ISSN: 2158-2440. URL: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987> (acedido em 14/04/2020).
- [19] M. Hermann, T. Pentek e B. Otto, «Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review», Technical University of Dortmund, rel. téc. 1, 2015, p. 15. URL: [http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf) (acedido em 25/05/2020).
- [20] M. Chinosi e A. Trombetta, «BPMN: An Introduction to the Standard», *Computer Standards & Interfaces*, vol. 34, n.º 1, pp. 124–34, 2012. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002> (acedido em 14/04/2020).
- [21] M. Devillers, «Business Process Modeling as a Means to Bridge The Business-IT Divide», tese de doutoramento, Universidade Radboud, Nijmegen, Holanda, 2011.
- [22] D. Silva e J. L. Pereira, «Modelação de Processos de Negócio: Análise Comparativa de Linguagens», *Atas da Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação*, n.º 15, pp. 157–76, 2016. URL: <https://doi.org/10.18803/capsi.v15.157-176> (acedido em 15/04/2020).
- [23] OMG, «Business Process Model and Notation (BPMN)», versão 2.0, 2011. URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF> (acedido em 15/04/2020).
- [24] X. Zhu, S. K. Mukhopadhyay e H. Kurata, «A Review of RFID Technology and Its Managerial Applications in Different Industries», *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 29, n.º 1, pp. 152–67, 2012. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2011.09.011> (acedido em 27/05/2020).
- [25] M. A. E. Khaddar, M. Boulmalf, H. Harroud e M. Elkoutbi, «RFID Middleware Design and Architecture», em *Designing and Deploying RFID Applications*, 2011. URL: <https://doi.org/10.5772/16917> (acedido em 31/05/2020).
- [26] K. Finkenzerler, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3ª ed. John Wiley e Sons, 2010.
- [27] R. Bártolo, «Integração de Sistemas de Rastreabilidade em Ambiente Industrial», tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2013.
- [28] V. D. Hunt, A. Puglia e M. Puglia, *RFID: a guide to radio frequency identification*. John Wiley & Sons, 2007.
- [29] S. Lahiri, *RFID sourcebook*. IBM press, 2005.
- [30] G. P. CODIPOR, *GS1 EPCglobal: O que necessita saber...* 2016. URL: [https://www.gs1pt.org/wp-content/uploads/2016/04/Standard\\_GS1\\_EPC.pdf](https://www.gs1pt.org/wp-content/uploads/2016/04/Standard_GS1_EPC.pdf) (acedido em 27/06/2020).
- [31] E. Ngai, K. K. Moon, F. J. Riggins e Y. Y. Candace, «RFID research: An academic literature review (1995–2005) and future research directions», *International Journal of Production Economics*, vol. 112, n.º 2, pp. 510–520, 2008.

- [32] N. O’Leary, «About : Node-RED», URL: <https://nodered.org/about/> (acedido em 10/05/2020).
- [33] D. Conway-Jones, «A set of dashboard nodes for Node-RED», URL: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard> (acedido em 10/05/2020).
- [34] C. Liu e P. Jiang, «A cyber-physical system architecture in shop floor for intelligent manufacturing», *Procedia Cirp*, vol. 56, pp. 372–377, 2016.
- [35] G. Powell, *Beginning database design*. John Wiley & Sons, 2006.
- [36] J. P. Rodrigues, «Apontamentos teóricos e práticos de Sistemas Flexíveis de Produção», 2019-2020.
- [37] H. Proença, J. Muranho e P. Prata, «Apontamentos teóricos e práticos de Base de Dados I», 2004-2005.
- [38] Lucidchart, «Entity-Relationship Diagram Symbols and Notation», URL: <https://www.lucidchart.com/pages/ER-diagram-symbols-and-meaning> (acedido em 10/09/2020).
- [39] *ESP8266EX Datasheet*, versão 6.5, Espressif Systems, 2020. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf) (acedido em 27/04/2020).
- [40] *Insight Into ESP8266 NodeMCU Features & Using It With Arduino IDE*, ago. de 2018. URL: <https://lastminuteengineers.com/esp8266-nodemcu-arduino-tutorial/> (acedido em 27/04/2020).
- [41] A. Devices, *3.3 V Slew Rate Limited, Half- and Full-Duplex, RS-485/RS-422 Transceivers*, 2011. URL: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADM3483\\_3485\\_3488\\_3490\\_3491.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADM3483_3485_3488_3490_3491.pdf) (acedido em 28/04/2020).
- [42] *HF RFID system: Read/Write Module (RWM) - RLS-1183-020*, Contrinex, 2018. URL: <https://www.contrinex.com/product/%20rls-1183-020/> (acedido em 05/02/2020).
- [43] *HF RFID system: Transponder - RTP-0201-020*. Contrinex, 2018. URL: <https://www.contrinex.com/product/rtp-0501-020/> (acedido em 02/05/2020).
- [44] R. P. Foundation, «What is a Raspberry Pi?», URL: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/> (acedido em 12/09/2020).
- [45] G. Halfacree, «Benchmarking the Raspberry Pi 3 B+», URL: <https://medium.com/@ghalfacree/benchmarking-the-raspberry-pi-3-b-plus-44122cf3d806> (acedido em 12/09/2020).
- [46] TechTarget, «SAP BAPI (Business Application Programming Interface)», 2018. URL: <https://searchsap.techtarget.com/definition/BAPI> (acedido em 15/10/2020).
- [47] S. C. Wiki, «Goods Movements with BAPI», 2015. URL: <https://wiki.scn.sap.com/wiki/display/ERPSCM/Goods+Movements+with+BAPI#GoodsMovementswithBAPI-Introduction> (acedido em 15/10/2020).



---

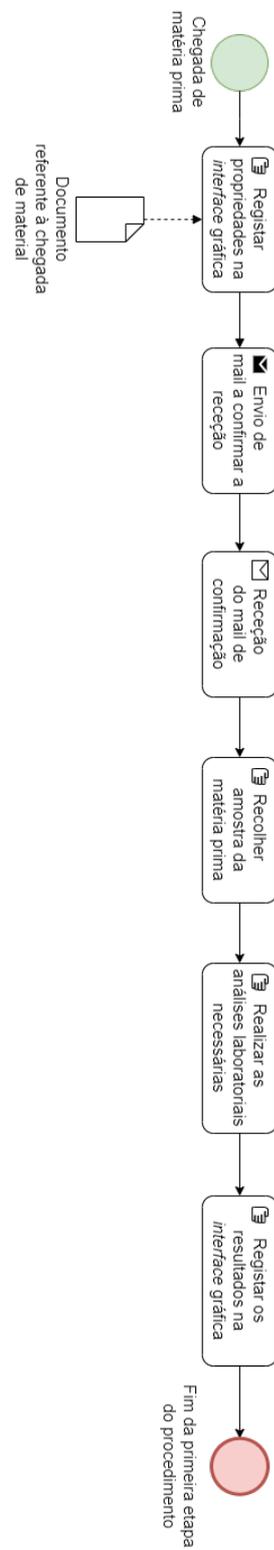
## Apêndice A

# Utilização e funcionamento da solução proposta

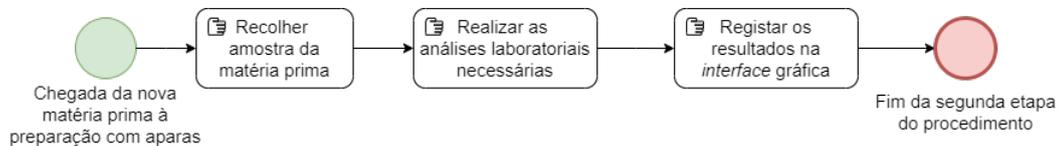
---

Neste apêndice é apresentado o modo de funcionamento do sistema bem como os diagramas BPMN das etapas que o integram. Os passos para a utilização correta do sistema criado são:

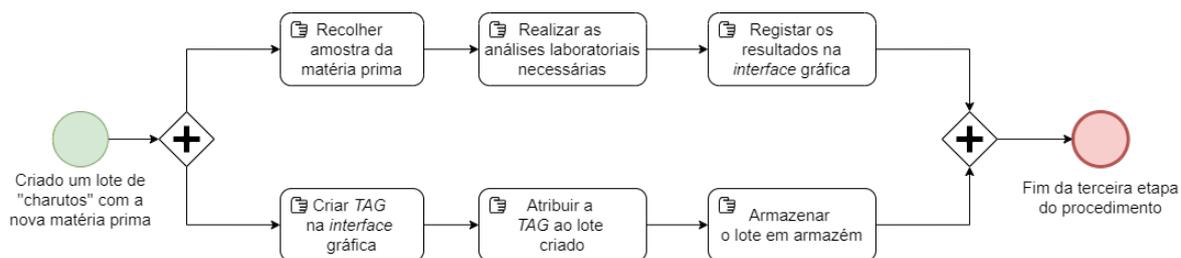
1. Efectuar o registo e posterior *login* na interface gráfica. Esta página é apresentada na Figura B.1 do Apêndice B.
2. Registo das informações relativas à chegada de nova matéria prima ao armazém na *tab* Figura B.2 do Apêndice B. Após esse registo é enviado um mail automático a informar o colaborador responsável por recolher as amostras para as análises laboratoriais, de que foi registada a entrada de matéria prima.
3. Após cada uma das análises, em cada uma das três etapas (receção, preparação com aparas e extrusão), é preciso efectuar o registo dos valores das propriedades na *tab* representada pela Figura B.3 do Apêndice B.
4. À medida que são criados os lotes pelo robô paletizador, o colaborador responsável pela verificação dos mesmos deve aceder à *tab* "Controlo da TAG" onde deverá criar um número identificativo desse lote após a extrusão. Após essa etapa, na mesma *tab*, o colaborador deve escolher o modo de envio para a *tag* e simplesmente passar a *tag* na frente do leitor, associando assim essa *tag* a um ID e posteriormente deve colocá-la no lote. Esse lote é deslocado para um armazém onde permanece até ser utilizado.
5. Quando os lotes são utilizados o colaborador que os usa deverá aceder à *tab* "Controlo da TAG" e escolher o modo de leitura do sistema RFID. Depois é só passar a *tag* no campo do leitor e verificar o ID do lote e associar o mesmo a uma linha de produção. Deste modo é possível saber as propriedades da pasta utilizada para criar os produtos nas respetivas linhas de produção.



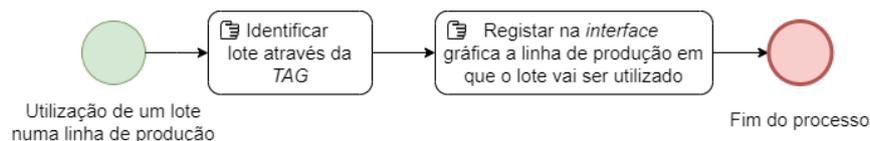
**Figura A.1:** BPMN representativo do passo 2 da lista anterior.



**Figura A.2:** BPMN representativo do passo 3, nomeadamente na etapa da preparação da pasta com aparas.



**Figura A.3:** BPMN representativo do passo 4 da lista anterior.



**Figura A.4:** BPMN representativo do passo 5 da lista anterior.



---

## Apêndice B

# Interface Gráfica *Web*

---

Neste apêndice são apresentadas as várias páginas e *tabs* que constituem a *interface* gráfica *web* criada.



**Figura B.1:** *Tab* dedicada ao registo de propriedades.

Controlo de Qualidade - Roller PT004BA Registo com sucesso!

→ Entrada de Materiais

☑ Registo de Propriedades

📄 Tabelas

📊 Gráficos

📍 Identificação da Palette

📁 Controlo da TAG

**Entrada de Matérias Primas**

Número do documento do Fornecedor: 85660

Data do documento: 12/01/2021

Item do pedido de compra: 1522

Número do pedido de compra: 1562

Material: 154

Quantidade: 1052

REGISTAR ENTRADA

Figura B.2: Tab para registo da entrada de matéria prima.

Controlo de Qualidade - Roller PT004BA Erro no registo!

→ Entrada de Materiais

☑ Registo de Propriedades

📄 Tabelas

📊 Gráficos

📍 Identificação da Palette

📁 Controlo da TAG

**Matéria prima de:**

Número do Fornecedor: **38500**

Número do Pedido: **12982**

Item do Pedido: **1852**

**Recepção de pasta Líquida PT004BA:**

Densidade recepção (g/l):

Distribuição granulométrica D50% (µm):

Dureza (Kg/cm2):

Resistência mecânica seco (Kg/cm2):

Resistência mecânica chacote (Kg/cm2):

Resistência mecânica cozido (Kg/cm2):

REGISTAR PROPRIEDADES

**Preparação de pasta PT004BA com aparas:**

Distribuição granulométrica D50% (µm):

Dureza (Kg/cm2):

REGISTAR PROPRIEDADES

**Caracterização pasta extrudida PT004BA:**

ID TAG:

Dureza 1ª extrusão (Kg/cm2):

Porcentagem de H2O%:

Resistência mecânica seco (Kg/cm2):

Resistência mecânica chacote (Kg/cm2):

Resistência mecânica cozido (Kg/cm2):

REGISTAR PROPRIEDADES

ID da Tag acabada de registar: **21**

Figura B.3: Tab de registo dos valores das propriedades com notificação de erro.

Controlo de Qualidade - Roller PT004BA

→ Entrada de Materiais

☑ Registo de Propriedades

📄 Tabelas

📊 Gráficos

📍 Identificação da Palette

📁 Controlo da TAG

**Caracterização pasta extrudida PT004BA:**

id	ncolabo...	nformec...	npedido	id_erp	durezaE...	perch2O	resChac...	resCozido	resSeco	utilizacao	hora	data
12	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:24:16	2021-02-06
13	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:24:16	2021-02-06
14	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:24:17	2021-02-06
15	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:24:21	2021-02-06
16	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:24:58	2021-02-06
17	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:25:00	2021-02-06
18	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:25:29	2021-02-06
19	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:47:35	2021-02-06
20	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:13	2021-02-06
21	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:15	2021-02-06
22	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:16	2021-02-06
23	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:17	2021-02-06
24	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:17	2021-02-06
25	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:18	2021-02-06
26	admin	1552	4512	1	25	25	25	25	25	armazem	20:49:19	2021-02-06

**Criar ficheiro excel**

Selecione o intervalo de tempo para criar um ficheiro excel:

Data de início:

Data de fim:

CRIAR

Figura B.4: Tab dedicada à exposição dos registos efetuados.

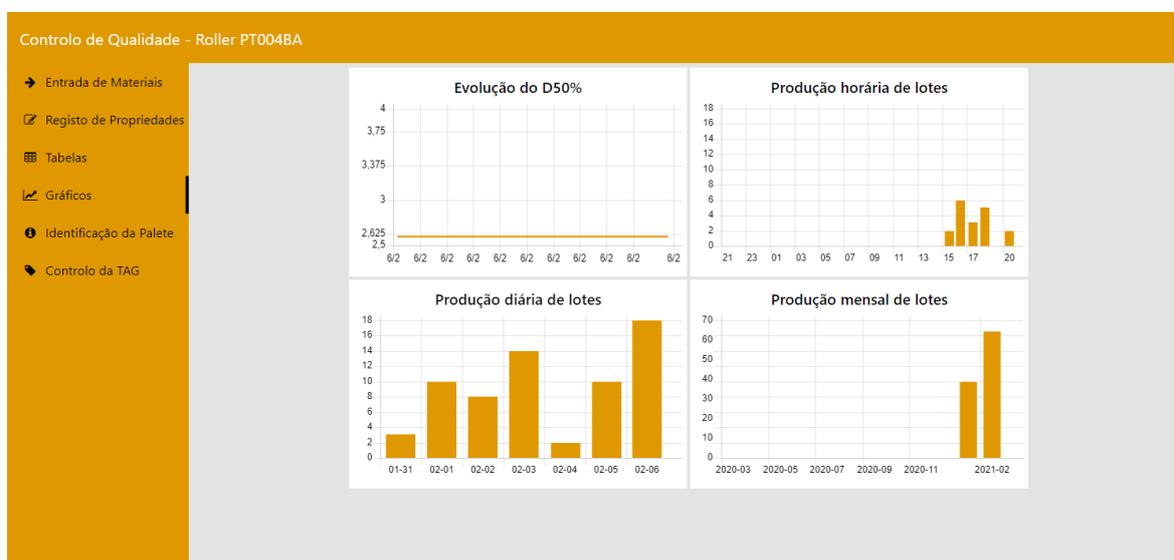


Figura B.5: Tab com gráficos de modo a controlar os valores de certas propriedades e a produção de lotes.



Figura B.6: Tab com gauges para monitorizar os valores das propriedades.

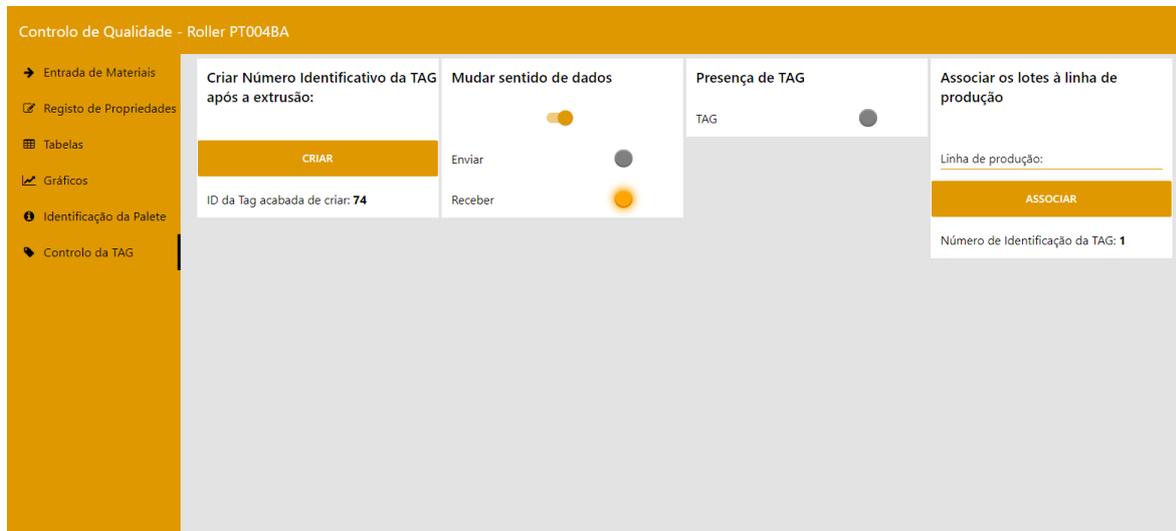


Figura B.7: Tab dedicada ao controlo do sistema RFID.

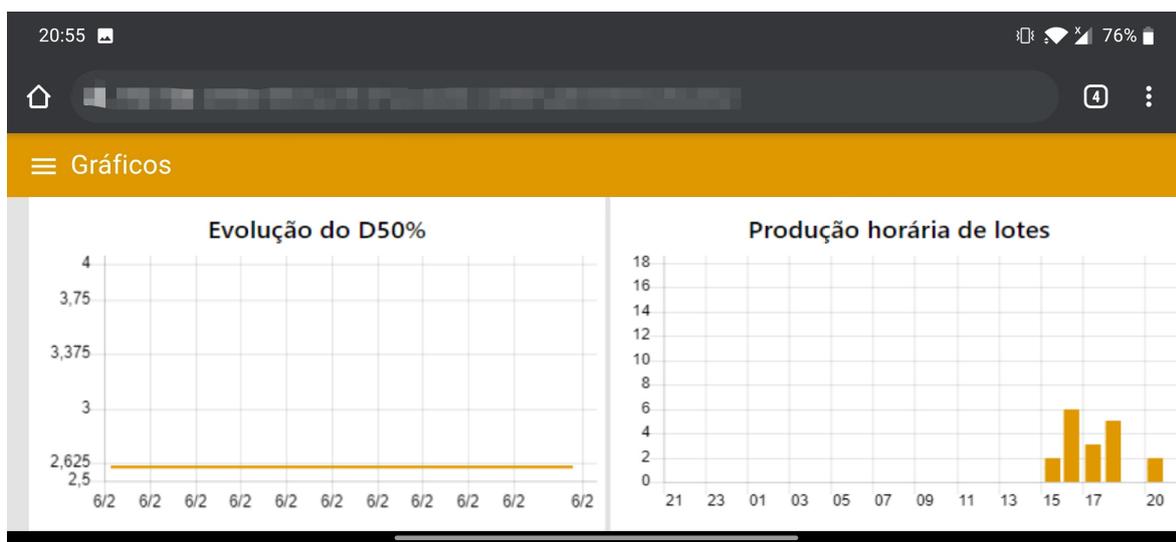


Figura B.8: Tab gráficos acedida por um *smartphone* com a orientação na horizontal.

20:47

Registo de Propriedades

**Matéria prima de:**

Número do Fornecedor: 1552

Número do Pedido: 4512

Item do Pedido: 451

**Recepção de pasta Líquida PT004BA:**

Densidade recepção (g/l):

Distribuição granulométrica D50% ( $\mu\text{m}$ ):

Dureza (Kg/cm2):

Resistência mecânica seco (Kg/cm2):

Resistência mecânica chacote (Kg/cm2):

Resistência mecânica cozido (Kg/cm2):

REGISTAR PROPRIEDADES

Preparação de pasta PT004BA

**Figura B.9:** Tab de registo dos valores das propriedades acedida por um *smartphone* com a orientação na horizontal.



## Apêndice C

# Esquema Elétrico

Neste apêndice é apresentado o esquema elétrico do sistema criado durante o projeto. Na Figura B.1 é possível observar o módulo que permite estabelecer a comunicação RS485 ao microcontrolador. É necessário este módulo porque os leitores de RFID da marca Contrinex comunicam através de RS485.

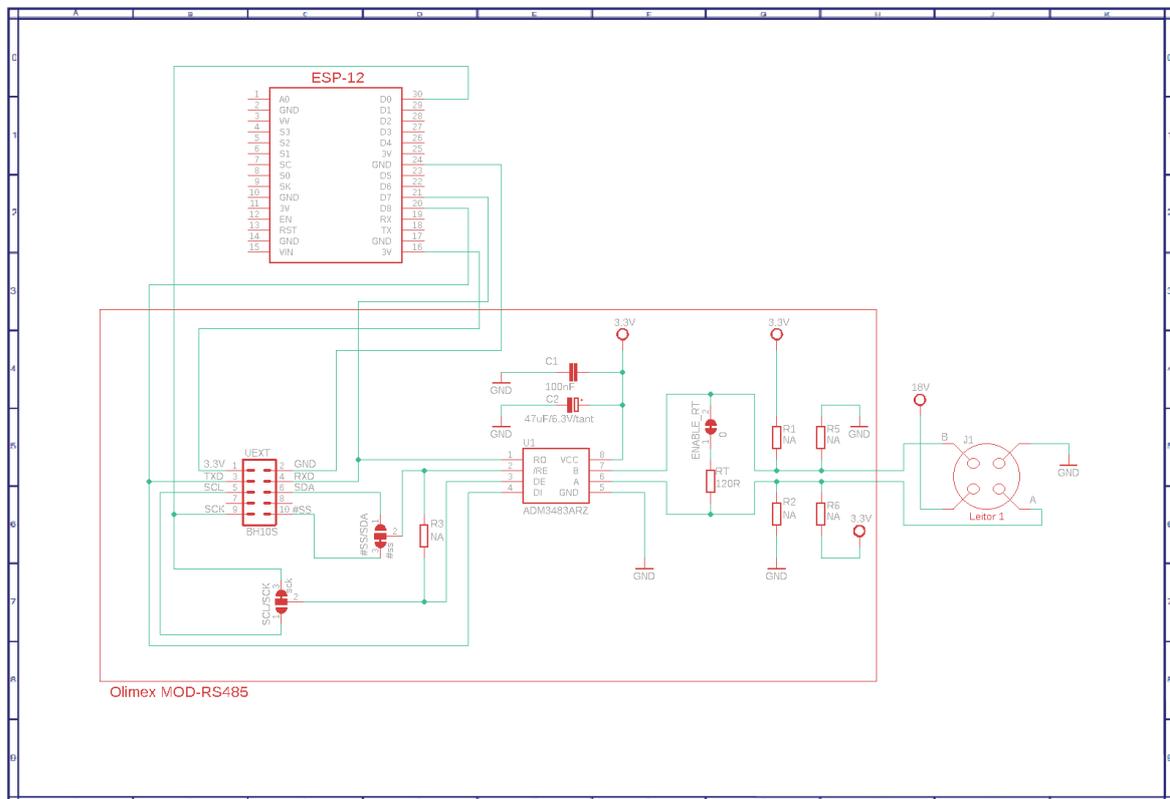


Figura B.1: Esquema elétrico do microcontrolador, módulo RS485 e leitor da Contrinex.

