



**João Carlos Santos
Cardoso Bastos
Almeida**

Novo Sistema De Rastreabilidade Industrial



**João Carlos Santos
Cardoso Bastos
Almeida**

Novo Sistema De Rastreabilidade Industrial

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Prof. Doutor José Paulo Santos, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Prof. Doutor José Paulo Santos
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

Em primeiro lugar gostaria de agradecer às duas pessoas mais importantes da minha vida. Ao meu pai (Teodoro Bastos Almeida) e minha avó (Maria Alice Bastos) agradeço-vos por todo o carinho, atenção e valores que me inculcaram ao longo do meu processo evolutivo e pela motivação e força que me transmitiram para a conclusão deste trabalho. Ao Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos, meu orientador de dissertação, deixo aqui o meu agradecimento pelo acompanhamento do trabalho, disponibilidade, competência científica e profissionalismo demonstradas como professor e orientador, bem como a motivação e amizade manifestadas. Ao Professor Miguel Silva, meu co-orientador, agradeço o acompanhamento do trabalho, dedicação e interesse manifestados, bem como críticas, correções e sugestões abordadas ao longo deste estudo. Finalizando, agradeço aos meus amigos que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão do meu trabalho.

Palavras-chave

Tecnologias AIDC; RFID; Rastreabilidade; Identificação automática; Otimização industrial; Serviços WEB; Serviços GSM; microcontroladores; sistema integrado de monitorização e controlo *real-time*;

Resumo

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de uma arquitetura conceptual que permita integrar equipamentos industriais em conjunto com tecnologias de identificação e recolha de dados automática. Os esforços para o desenvolvimento do sistema integrador foram orientados no sentido de incluir a tecnologia RFID como elemento de excelência para identificação automática e recolha de dados. O sistema desenvolvido pretende dar resposta aos problemas existentes na integração dos atuais sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID. Os sistemas de rastreabilidade são maioritariamente fechados e proprietários, dificultando o fluxo de informação ao longo da cadeia de fornecimento. O elevado custo e complexidade dos sistemas de rastreabilidade é outro dos fatores que contribui para uma baixa adoção destes sistemas no meio industrial. O sistema implementado pretende reunir condições favoráveis à rastreabilidade dos itens na cadeia de fornecimento de forma rápida e fácil, e ao mesmo tempo permitir a otimização e controlo dos processos de produção da indústria, associados a um baixo custo de integração do sistema e baixa complexidade. O presente trabalho consistiu, numa primeira fase, na implementação de uma plataforma conceptual apta para integrar equipamentos industriais (nomeadamente autómatos, sensores, drivers e outro tipo de equipamentos) em congruência com equipamentos RFID. Baseando-se numa plataforma computacional centralizada e na utilização de microcontroladores, o autor proporcionou a necessária integração dos serviços de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID em conjunto com os serviços de controlo e monitorização das linhas de produção, permitindo assim uma melhor gestão e otimização da produção na indústria. O ingrediente principal deste conceito baseou-se na integração dos serviços de rastreabilidade na infraestrutura pré-existente na indústria. Através de uma extensão ao protocolo *Modbus* foi possível prover os necessários serviços de rastreabilidade de forma rápida e flexível. Foram desenvolvidos módulos RFID para a leitura e escrita automática de dados, capazes de estarem integrados na rede *Modbus* e capazes de proporcionar serviços de rastreabilidade e parametrização dos processos de produção. Destaque para implementação de um *web server* dinâmico, integrado no próprio microcontrolador, proporcionando em *real-time* os registos de identificação dos itens e possibilidade de ações de otimização e controlo dos processos da cadeia de fornecimento. A informação está disponível ao utilizador de forma local e remota desde que para isso exista uma ligação de dados à Internet. Foi também incorporado no sistema um serviço de gestão de alertas dos processos de produção através de serviços GSM (incorporados também no microcontrolador). Através de uma mensagem de texto, o encarregado de produção é automaticamente notificado acerca da ocorrência verificada pelo sistema.

Keywords

AIDC Technologies; RFID; Traceability; Automatic Identification; Industrial optimization; WEB services; GSM services; microcontrollers; *real-time* monitoring and control systems;

Abstract

This thesis proposes the development of a conceptual architecture able to integrate industrial equipment together with identification technologies and automated data collection. Efforts to develop the integration system were instructed to include RFID technology as an element of excellence for automatic identification and data collection. The developed system aims to solve the integration problems of existing traceability systems based on RFID technology. The current traceability systems are mostly proprietary and closed, hampering the flow of information along the supply chain. The high cost and complexity of traceability systems is another factor that contributes to poor acceptance and adoption of these systems in the industrial environment. The implemented system aims to gather favorable conditions for the traceability of items quickly and easily in the supply chain, while also allowing the control and optimization of production processes in industry, coupled with a low cost system integration and low complexity. The present work consisted, initially, the implementation of a platform able to integrate conceptual industrial equipment (including PLC's, sensors, drivers and other equipment) in congruence with RFID equipment. Based on a centralized computing platform and using microcontrollers, the author provided the necessary traceability services based on RFID technology in conjunction with the control and monitoring the industrial production lines, allowing a better management and optimization for industry. The main ingredient of this concept is based on the integration of traceability services at the pre-existing network infrastructure. Through a *Modbus* protocol extension, the system could provide the necessary traceability services quickly and flexibly. RFID modules have been developed for the automatic reading and writing data, capable of being networked in *Modbus* and capable of providing services for traceability in production processes. Highlights for the implementation of an integrated *web server*, in microcontroller itself, providing in *real-time* records for identifying items and possible optimization for process control actions in the supply chain. The information is available to the user can be remotely accessed and it is only necessary a data connection throw the Internet. The system also incorporates a management alerts service for production processes through GSM services (also embedded in the microcontroller). Through a text message, the charge of production is automatically notified of occurrence verified by the system.

Conteúdo

1	Introdução	3
1.1	Enquadramento e Motivação	3
1.2	Problema	5
1.3	Objetivos	6
1.4	Solução proposta	7
1.5	Organização da dissertação	10
1.6	Revisão do estado da arte	11
1.6.1	Sistemas de rastreabilidade	13
1.6.2	<i>EPC Global</i>	14
2	Rastreabilidade	17
2.1	Conceito de rastreabilidade	17
2.2	Diferentes abordagens da rastreabilidade	17
2.3	Importância da rastreabilidade	19
2.3.1	Indústria	19
2.3.2	Consumidor	20
2.3.3	Autoridades competentes	20
2.4	Setores da cadeia de fornecimento	20
2.5	Rastreabilidade: informação	21
2.6	Rastreabilidade dos itens	22
2.7	Desafios da rastreabilidade	23
2.8	Identificação - Suportes físicos	23
2.8.1	Código de barras	24
2.8.2	RFID	25
2.8.3	Comparação dos principais sistemas de rastreabilidade	26
3	Tecnologias de suporte	29
3.1	Código de barras	29
3.1.1	Tipos de código de barras	30
3.1.2	Codificação EAN-13	31
3.1.3	Codificação GS1-128	32
3.1.4	Limitações da tecnologia código de barras	34
3.2	RFID	35
3.2.1	Constituição do sistema RFID	36
3.2.2	Métodos de funcionamento da <i>tags</i> RFID	37
3.2.3	Armazenamento de dados	37
3.2.4	Características físicas das <i>tags</i>	38

3.2.5	Classificação de sistemas RFID	41
3.2.6	Seleção do um sistema RFID	43
3.2.7	Protocolos de transmissão	47
3.2.8	Comunicação entre o <i>Reader</i> e a <i>Tag</i>	48
3.2.9	EPC	50
3.2.10	Limitações da tecnologia RFID	51
3.2.11	Tecnologia NFC	52
3.3	Smart Card	54
3.3.1	Normalização	55
3.4	Processos biométricos	55
4	Protocolos	57
4.1	Análise do protocolo ISO/IEC 14443	57
4.1.1	Características físicas	57
4.1.2	Potência da onda de radiofrequência e interface do sinal	58
4.1.3	Inicialização e Anti-colisão	63
4.1.4	Estados do PICC	65
4.2	Protocolos de comunicação Industrial	66
4.2.1	RS-232/ RS-422	67
4.2.2	RS-485	68
4.2.3	Modbus	71
4.3	TCP/IP	74
4.3.1	Arquitetura da Internet	75
4.3.2	Descrição das camadas TCP/IP	77
4.3.3	Camada de Transporte - Protocolo UDP	78
4.3.4	Camada de Transporte - Protocolo TCP	78
4.3.5	Estabelecimento e terminação da ligação TCP	81
5	Arquitetura da solução proposta	85
5.1	Seleção da arquitetura	85
5.2	Seleção da plataforma computacional	86
5.2.1	Baseado num autómato	86
5.2.2	Baseado num computador pessoal	87
5.2.3	Baseado num microcontrolador (μ C)/microprocessador (μ P)	87
5.3	Arquitetura proposta	89
5.4	Proposta de integração dos serviços de rastreabilidade	91
6	Implementação do sistema integrador	95
6.1	Módulo Central de Processamento de Dados	97
6.1.1	Central de Processamento de Dados	97
6.1.2	Serviços GSM	98
6.1.3	Serviços Web	103
6.1.4	Interface de Atuações Analógicas	110
6.2	Módulos externos	113
6.2.1	Equipamentos de Identificação Automática	113
6.2.2	Conceção do módulo HMI	121
6.3	Conceção da rede proposta pelo autor	124

6.3.1	Conectividade entre dispositivos	125
6.3.2	Estrutura das mensagens e funcionamento do sistema integrador .	126
6.3.3	Ligação dos módulos externos	129
6.3.4	Análise de resultados do sistema implementado	130
Conclusões		133
Bibliografia		139
A1 - Esquema Eléctrico dos adaptadores de rede		143
A2 - Esquema Eléctrico da interface de saídas analógicas		147
A3 - Esquema eléctrico do módulo RFID		149

Lista de Tabelas

2.1	Estrutura GTIN para diferentes codificações (EAN-13, EAN-8 e ITF-14)	24
2.2	Análise dos diferentes tipos de sistemas de rastreabilidade[29].	27
3.1	Exemplo de alguns AI (<i>Application Identifiers</i>)[6].	34
3.2	Comparação das principais tecnologias AIDC[27].	44
3.3	Propriedades e aplicações para diferentes bandas de radiofrequência[44].	46
3.4	Principais <i>standards</i> RFID[44].	48
3.5	Comparação dos sistemas de acoplamento[32].	48
4.1	Sequências do esquema de codificação do leitor para a <i>tag</i> .	59
4.2	Representação binária.	60
4.3	Representação binária e codificação com o tipo A - PICC para PCD.	62
4.4	Representação binária com o tipo B - PCD para PICC.	62
4.5	Representação binária com o tipo B - PICC para PCD.	63
4.6	Frame delay time dos comandos enviados pelo PCD.	64
4.7	Frame delay time dos comandos enviados pelo PCD.	65
4.8	<i>Pin-out</i> do conector DB-9.	68
4.9	Características eléctricas do protocolo RS-485.	70
4.10	Trama de envio em modo RTU.	72
4.11	Trama de envio em modo ASCII.	72
5.1	Estrutura de dados da etiqueta RFID.	93
5.2	Funções definidas pelo utilizador.	94
5.3	Trama <i>Modbus enhanced</i> para os serviços de rastreabilidade.	94
5.4	Trama <i>Modbus enhanced</i> para os serviços de parametrização.	94
6.1	Descrição da composição do módulo Central de Processamento de Dados.	96
6.2	Descrição dos principais componentes do PIC-GSM.	98
6.3	Lista dos principais comandos AT.	99
6.4	Lista dos alertas SMS implementados no sistema.	103
6.5	Descrição dos serviços TCP/IP no módulo Central.	106
6.6	Descrição dos serviços TCP/IP para a Interface de Atuações Analógicas.	107
6.7	Descrição dos constituintes da placa interface de Atuações Analógicas.	112
6.8	Descrição dos constituintes do módulo RFID.	118
6.9	Alocação de dados relativos ao controlo analógico.	121
6.10	Alocação de dados relativos ao controlo digital.	121
6.11	Alocação de dados relativos ao controlo de equipamentos industriais.	121
6.12	Descrição do menu de atuações analógicas.	123

6.13	Descrição do menu de atuações do módulo central.	123
6.14	Funções definidas pelo utilizador (<i>Modbus enhanced</i>).	128
6.15	Mensagem de controlo dos nodos de identificação (<i>request</i> de dados).	128
6.16	Mensagem de resposta para atuação local analógica.	128
6.17	Mensagem de resposta para atuação local digital.	128
6.18	Mensagem de resposta para atuação de um PLC ligado à rede industrial.	128
6.19	Descrição do adaptador de rede.	130
6.20	Análise de desempenho do sistema integrador.	131

Lista de Figuras

1.1	Diagrama de interações do sistema integrador.	7
1.2	Integração dos serviços de rastreabilidade e serviços de parametrização.	9
1.3	Exemplo de constituição de um <i>GS1 Data bar</i> [7].	13
1.4	Constituição do sistema de rastreabilidade <i>EPCglobal Network</i> [24].	15
2.1	Ilustração do <i>Tracking</i> e <i>Tracing</i>	18
2.2	Rastreabilidade na cadeia de fornecimento[30].	18
2.3	Componentes base de um sistema de rastreabilidade[28].	22
2.4	Estrutura GTIN[31].	24
3.1	Leitor de código de barras.	30
3.2	Codificação em largura (<i>ITF-14</i>) e em altura (<i>PostNET</i>).	31
3.3	Código de barras bidimensional do <i>PDF417</i>	31
3.4	Código de barras de um produto português.	32
3.5	Exemplo da codificação GS1-128	33
3.6	Mercado total do RFID em milhões de dólares (USD)[39].	36
3.7	<i>Tag</i> com formato disco[17].	39
3.8	<i>Tag</i> RFID inserida numa chave de automóvel[20].	39
3.9	<i>Tag</i> do tipo etiqueta[4].	40
3.10	<i>Tag</i> de implantação humana[11].	40
3.11	Cartão de identificação do autor.	41
3.12	Frequências de operação em diferentes regiões do universo[44].	45
3.13	Acoplamento indutivo[27].	49
3.14	Código UPC (<i>Universal Product Code</i>)[33].	50
3.15	Código EPC (<i>Electronic Product Code</i>)[33].	51
3.16	Ilustração de um pagamento através da tecnologia NFC[19].	53
3.17	Tecnologia <i>smart card</i>	54
4.1	Métodos de modulação definidos pela ISO/IEC 14443[23].	59
4.2	Modo pausa definido pela norma ISO/IEC 14443[23].	60
4.3	Deteção do modo pausa por parte do PICC[23].	61
4.4	Modulação BPSK[23].	63
4.5	Zona de acoplamento[23].	63
4.6	Frame delay time do PCD para PICC[23].	64
4.7	Diagrama de estados do dispositivo PICC (tipo A)[23].	66
4.8	Conector DB-9[12].	68
4.9	Oposição dos sinais da comunicação diferencial RS-485[10].	69
4.10	Distância máxima de transmissão (feet) em função do baud rate[40].	69

4.11	Resistências de <i>pull-up</i> e <i>pull-down</i> presentes na comunicação RS-485.	70
4.12	Descrição das funções públicas[13].	73
4.13	Categorias de funções <i>Modbus</i> [13].	74
4.14	Relação entre o modelo de referência OSI e o modelo TCP/IP.	76
4.15	Designação do pacote de dados em função da camada TCP/IP.	76
4.16	Formato do datagrama UDP[43].	78
4.17	Formato do datagrama TCP[43].	80
4.18	Sequência de mensagens para estabelecimento de ligação TCP[43].	82
4.19	Sequência de mensagens para conclusão da ligação TCP[43].	83
5.1	Representação do diagrama de blocos da arquitetura PIC18[1].	89
5.2	Diagrama de interações do sistema integrador proposto pelo autor.	89
6.1	Ilustração do módulo Central de Processamento de Dados.	96
6.2	Placa de desenvolvimento PIC-GSM.	98
6.3	Diagrama de interações dos serviços GSM.	99
6.4	Envio e resposta do comando AT entre o μ C e <i>Modem</i>	99
6.5	Inicialização dos serviços GSM por <i>software</i>	100
6.6	Diagrama de interações para o envio de um alerta SMS.	101
6.7	Diagrama de interações para a receção de um pedido através de SMS.	102
6.8	Esquema de interações dos serviços TCP/IP disponibilizados.	103
6.9	Ligação local aos serviços Web.	104
6.10	Ligação remota aos serviços Web.	104
6.11	Página inicial do Servidor Web.	105
6.12	Monitorização em <i>real time</i> da Interface de Atuação Analógica.	106
6.13	Partilha de dados na cadeia de fornecimento.	107
6.14	Estado do produto.	108
6.15	Diagrama de funcionamento dos serviços de rastreabilidade.	108
6.16	Criação da tabela <i>rastreabilidade</i>	109
6.17	Fluxograma da aplicação VB.	109
6.18	Monitorização da base de dados.	110
6.19	Diagrama de interações entre a Central e um módulo analógico.	110
6.20	Diagrama de interações da Interface de Atuações Analógica.	111
6.21	Placa de interface analógica.	111
6.22	Visualização da linha de SS relativa à comunicação SPI.	112
6.23	Visualização da linha de <i>clock</i> (SCK) relativa à comunicação SPI.	112
6.24	Visualização da linha de dados (SDO) relativa à comunicação SPI.	113
6.25	Comparação dos kits Skyemodule.	115
6.26	Módulo de leitura Siemens Simatic RD200 13.56 MHz.	116
6.27	Kit de desenvolvimento RFID 13.56 MHz.	116
6.28	Diagrama de interações do módulo RFID implementado.	117
6.29	Constituição do módulo RFID desenvolvido.	117
6.30	Fluxograma de controlo do módulo RFID em modo escrita automática.	119
6.31	Fluxograma de controlo do módulo RFID em modo leitura automática.	120
6.32	Menu de atuações analógicas proporcionado pelo módulo HMI.	122
6.33	Menu de atuações do módulo central.	123
6.34	Menu de atuações local proporcionado pelo módulo HMI.	124

6.35	Diagrama de interligação dos vários sistemas.	124
6.36	Rede <i>half-duplex</i> RS-485[2].	125
6.37	Rede <i>full-duplex</i> RS-485[2].	125
6.38	Conector RJ-45 e DB-9[14].	126
6.39	<i>Pin-out</i> dos conectores RJ-45 e DB-9[14].	126
6.40	Fluxograma de processamento das mensagens recebidas pela central.	127
6.41	Tempo entre os pedidos <i>request</i> do módulo Central.	129
6.42	Comunicação entre a central e nodos presentes na linha.	129
6.43	Adaptador de rede para a interligação dos equipamentos externos.	130
6.44	Esquema eléctrico do adaptador de rede para o nodo <i>Master</i>	144
6.45	Esquema eléctrico do adaptador de rede para nodos do tipo <i>Slave</i>	145
6.46	Placa de circuito impresso do adaptador de rede <i>Master</i>	146
6.47	Placa de circuito impresso do adaptador de rede <i>Slave</i>	146
6.48	Esquema eléctrico da placa de interface analógica.	148
6.49	Esquema eléctrico do módulo RFID.	150

Glossário

AIDC (*Automatic Identification and Data Capture*) - Universo de tecnologias que permitem a identificação e captura de dados de forma automática.

ASK (*Amplitude shift keying*) - Técnica de modulação de sinais discretos. Baseia-se na variação da amplitude da onda portadora em função do sinal digital de entrada.

DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) - Protocolo que permite a obtenção automática de endereços IP aos dispositivos ligados à rede. A máquina contendo o *DHCP server* atribui endereços IP aos nodos *DHCP client*.

EAN (*European Article Number*) - *Standard* que define um dos padrões para a codificação de dados em formato código de barras.

EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read Only Memory*) - Memória de dados não volátil com ciclo de vida limitado e eliminação de dados de forma eléctrica.

EPC (*Electronic Product Code*) - *Standard* que define a representação de um código eletrónico para a identificação singular de um produto na cadeia de fornecimento, através da tecnologia RFID.

GTIN (*Global Trade Item Number*) - Número Mundial de Item Comercial. Permite a descodificação de diferentes tipos de código de barras (EAN-8, EAN-13, ITF-14) através de um número que pode conter entre 8 a 14 dígitos de informação.

HF (*High Frequency*) - Transmissão por radiofrequência em frequências altas (banda HF entre 3 MHz e 30 MHz).

HMI (*Human Machine Interface*) - Equipamento que permite uma interface visual e táctil para a monitorização e controlo de uma determinada máquina.

Interrogation zone - Zona para a qual o leitor RFID consegue comunicar com uma determinada *tag*.

Interrogator - O mesmo significado que um leitor RFID.

ISO (*International Organization of Standardization*) - Entidade/organização que desenvolve e promove padrões/normas que permitam o consenso entre diferentes países, facilitando o comércio internacional. Atualmente existem 170 países membros da organização ISO.

IT (*Information Technology*) - Tecnologias que abrangem a administração e gestão da informação através de dispositivos/equipamentos eletrónicos dotados para acesso, gestão e armazenamento de dados.

LF (*Low Frequency*) - Transmissão por radiofrequência em frequências baixas (banda LF entre 3 KHz e 300 KHz).

MIFARE - Tecnologia desenvolvida pela *NXP Semiconductors*. Fabricante de cartões inteligentes sem contacto físico (13.56 MHz) de acordo com a norma ISO/IEC 14443.

NFC (*Near Field Communication*) - Comunicação de campo próximo através da tecnologia RFID (13.56 MHz).

OSI (*Open Systems Interconnection*) - Protocolo de comunicações que se baseia numa arquitetura encapsuladora de sete camadas, criada pela ISO, de forma a permitir a interconectividade de diferentes equipamentos e hardware.

Reader - Aparelho de leitura/escrita de dados através da tecnologia RFID.

RFID (*Radio Frequency Identification*) - Tecnologia que permite a identificação de objetos através de ondas de radiofrequência.

Tag/transponder - Etiqueta RFID que permite operações de escrita e leitura através de um leitor RFID.

TCP (*Transfer Control Protocol*) - Mecanismo de transporte de dados do protocolo TCP/IP (camada de transporte) que permite a transmissão de dados de forma fiável através serviços como a deteção de erros, controlo de fluxo, controlo de congestão, supressão de dados duplicados, etc.

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) - O protocolo TCP/IP designa um conjunto de protocolos definidos em quatro camadas (Aplicação, Transporte, Rede, Física) o qual permite a comunicação entre vários dispositivos através da Internet (HTTP, FTP, Telnet, SMTP, etc).

UDP (*User Datagram Protocol*) - Mecanismo de transporte de dados do protocolo TCP/IP que permite a transmissão de dados de forma rápida, simples e sem estabelecimento de ligação.

UHF (*Ultra High Frequency*) - Transmissão por radiofrequência em frequências muito altas (banda UHF entre 300 MHz e 3 GHz).

UPC (*Universal Product Code*) - Código Universal do Produto. Tal como o EPC, o UPC define um *standard* para a identificação dos produtos através da tecnologia código de barras. O código UPC é constituído por doze dígitos (seis primeiros dígitos para o número do produtor, cinco dígitos para o número do item e o último dígito como verificação).

Web Server - Programa apto para aceitar pedidos HTTP por parte dos clientes. Geralmente um servidor web encontra-se inserido num programa de computador. No entanto, tal como irá ser abordado neste relatório de dissertação de mestrado, o servidor web poderá estar inserido noutra de tipo de arquiteturas (nomeadamente microcontroladores).

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A globalização e a necessidade de aumento e qualidade de produção impulsionaram a importância de incorporar sistemas de rastreabilidade capazes de dar resposta à otimização da gestão da cadeia de fornecimento. Os mecanismos de rastreabilidade devem, em primeiro plano efetuar o seguimento do produto sem afetar o funcionamento industrial e complementar o sistema rumo a uma melhor otimização e recolha de dados do produto/operação.

Do ponto de vista industrial, a implementação de sistemas de rastreabilidade permite uma melhor adaptação às necessidades e exigências de mercado. A boa implementação de um sistema de rastreabilidade permite o aumento do nível de competitividade entre empresas do mesmo setor, destacando-se as seguintes vantagens:

- **Otimização dos processos produtivos** - os sistemas de rastreabilidade, ao permitirem uma melhor gestão e visibilidade de informação na cadeia de fornecimento tornam mais fácil a otimização e o controlo dos processos de produção internos da empresa, associados a um menor custo de produção.
- **Diminuição dos prazos de entrega e rentabilização produtiva** - do ponto de vista comercial, a agilidade e otimização do fluxo de produção apresenta-se como uma das grandes vantagens da implementação de sistemas de rastreabilidade na indústria, permitindo aos clientes menores prazos de entrega do produto/serviço prestado;
- **Garantia da qualidade do produto e segurança do cliente/consumidor** - os sistemas de rastreabilidade garantem a qualidade do produto através da identificação em qualquer parte do seu ciclo de vida, apurando responsabilidades nos setores da cadeia de fornecimento. A garantia da qualidade do produto e a sua respetiva identificação funcionam como medida preventiva para a garantia da segurança e saúde do consumidor (mais concretamente para o caso das indústrias agro-alimentares e farmacêutica).

Nesta fase introdutória prevê-se que o leitor tenha assimilado algumas das vantagens da integração de sistemas de rastreabilidade. O capítulo 2 irá abordar com maior ênfase a

importância e desafios que a rastreabilidade acarreta, bem como os principais mecanismos de identificação utilizados.

Apesar das enormes vantagens, a integração deste tipo de sistemas é, na maior parte dos casos de difícil integração na indústria, podendo esta não conseguir cumprir os objetivos acima descritos. Os sistemas de rastreabilidade são sistemas informatizados e necessitam de adquirir informação diretamente no fluxo das linhas de produção. É notória a necessidade de uma boa ligação entre a instalação fabril, isto é, o fluxo das linhas de produção que efetuam o seguimento do produto e os sistemas informatizados que vão incorporar os sistemas de rastreabilidade. Este é talvez o passo mais importante da integração de um sistema de rastreabilidade: permitir uma boa ligação entre as tecnologias de produção e as tecnologias da informação.

Atualmente a tecnologia de código de barras apresenta-se como a tecnologia mais adotada para o suporte de sistemas baseados na rastreabilidade de produtos, permitindo a identificação e recolha de dados automática. Apesar da tecnologia de código de barras não ser uma tecnologia particularmente recente (as suas primeiras utilizações remontam ao início da década de 70), possui características intrínsecas interessantes para a sua utilização em processos de identificação automática, com particular destaque para a Grande Distribuição.

A identificação de produtos na cadeia de fornecimento através da tecnologia de código de barras apresenta geralmente um custo de integração relativamente baixo e facilidade de implementação. Nos dias atuais o preço de um leitor com tecnologia de código de barras ronda as dezenas de euros e o preço de uma etiqueta para identificação dos produtos, na maior parte dos casos, é desprezável uma vez que é incluída na própria impressão da respetiva embalagem. Os standards desta tecnologia encontram-se bem definidos, razão pela qual a tecnologia em causa é globalmente aceite.

No entanto, como irá ser apresentado mais adiante neste trabalho (capítulo 3 - Tecnologias de Suporte), a aplicação industrial da tecnologia baseada em código de barras está longe de ser a melhor solução para operações baseadas na rastreabilidade de produtos/serviços (necessidade de intervenção humana devido à linha de vista dos leitores de código de barras, baixa cadência de dados, suscetibilidade a agressões externas tais como sujidade, temperatura, humidade, entre outras limitações). A tecnologia RFID (Identificação por Radio-Frequência) tem vindo a ser um suporte de atrativo para efetuar operações de rastreabilidade na indústria. O RFID não apresenta as adversidades inerentes ao código de barras pelo que permite ser aplicado em projetos de rastreabilidade onde a implementação por código de barras é inviável ou dificilmente aplicável na instalação fabril.

Esta tecnologia permite a identificação automática de produtos/items sem a necessidade de intervenção humana, boa imunidade a agressões industriais (temperatura, humidade e poeiras), maior capacidade de alocação de dados, rapidez de identificação, entre outras vantagens que serão abordadas no capítulo 3 - Tecnologias de Suporte.

No entanto, o leitor deve ter em conta que a adoção e aceitação de um sistema de rastreabilidade deverá procurar dar resposta às necessidades da indústria: “Qual o retorno de investimento que o sistema de rastreabilidade permite”, “Qual o preço de integração do sistema em causa”, “Pode ser implementada em qualquer sistema”.

A maior parte dos sistemas de rastreabilidade com suporte de identificação RFID baseiam-se em normas fechadas e proprietárias, limitando a aceitação e adoção destes sistemas.

Em 1999, um grupo de produtores e distribuidores identificou o potencial da RFID ... como um complemento e eventualmente como a tecnologia sucessora dos Códigos de Barras. Contudo, reconheceu-se que, perante a inexistência de normais globais, tinham sido desenvolvidas muitas aplicações e soluções de RFID em sistemas fechados e proprietários, o que estaria a limitar a adoção massiva da RFID, nomeadamente devido aos elevados custos de implementação e incompatibilidade de sistemas[24].

A GS1 tem reunido esforços para colmatar a limitação dos sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID através do EPCglobal. Não obstante o EPCglobal apresentar um sistema de rastreabilidade com a implementação de uma arquitetura aberta e não proprietária, permitindo assim a rastreabilidade em toda a cadeia de fornecimento, ainda não constitui a resposta final à implementação destes sistemas. Presentemente, têm sido reunidos esforços para a certificação global do EPCglobal, que ainda é alvo de estudo por parte de organizações internacionais, nomeadamente a ISO. O EPCglobal ainda se encontra em evolução com vista a obter a certificação ISO (neste momento já apresenta a segunda geração de etiquetas denominadas Gen2).

A presente dissertação propõe um modelo de rastreabilidade baseado numa arquitetura conceptual aberta, de baixo custo de implementação e garantia da compatibilidade dos sistemas, onde seja possível a gestão da cadeia de fornecimento através de serviços de rastreabilidade em conjunto com serviços de parametrização, com vista ao aumento da flexibilidade e automatização das linhas de produção da instalação fabril.

1.2 Problema

A indústria está em constante evolução e cada vez mais necessita de processos de otimização e a gestão da produção avançados.

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 demanda imprevisível do cliente que, cada vez mais exige produtos com características diversificadas e a garantia da qualidade.

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.

A falta de registos adequados dificulta a otimização e gestão fabril. A integração de sistemas de rastreabilidade dão resposta ao problema. Resumidamente permitem uma melhoria da gestão dos diferentes setores da cadeia de fornecimento, que se traduz num aumento da flexibilidade/agilidade dos processos industriais, facilidade na apuração de responsabilidades, a rápida intervenção na presença de problemas, a redução dos custos de produção, a garantia da qualidade do produto e a garantia da saúde do consumidor¹.

Contudo, os sistemas de rastreabilidade são de difícil integração no meio industrial e a sua implementação na maior parte das vezes é complexa e dispendiosa. A implementação de sistemas de rastreabilidade tem que ser usada como um mecanismo auxiliar de gestão na indústria. Em muitos dos casos a dificuldade de mudança de mentalidade por parte dos trabalhadores e a gestão da empresa constitui a maior adversidade na integração destes sistemas, não sendo aproveitados os benefícios que este proporciona. A

¹Destaque para os setores alimentar e farmacêutico.

falta de normalização² é outra limitação destes sistemas. Os sistemas de rastreabilidade atuais não seguem uma implementação generalista: não existe um consenso na partilha e utilização dos dados pelos vários parceiros da cadeia de fornecimento, tornando difícil a sua adoção.

A coexistência de normas em paralelo é outro dos fatores responsáveis pela fraca adoção de sistemas de rastreabilidade na cadeia de fornecimento. As organizações ISO e EPCGlobal seguem diferentes abordagens o que contribui para a dificuldade de integração e transparência de dados na cadeia de fornecimento.

A não existência de um modelo conceptual de forma a facilitar a integração de sistemas de rastreabilidade, bem como a falta de normalização é atualmente um dos maiores desafios.

Outro dos problemas inerentes á implementação dos sistemas de rastreabilidade está relacionado com a dificuldade em apontar números concretos para a relação custo/benefício da implementação de um sistema de rastreabilidade na cadeia de fornecimento.

Os problemas acima abordados fazem com que os sistemas de rastreabilidade ainda não tenham muita aceitação e procura por parte da industria na gestão da cadeia de fornecimento.

É neste contexto que o autor pretende dar a sua contribuição: estudar e desenvolver uma plataforma computacional versátil, capaz de ser integrada com facilidade na instalação fabril, proporcionando serviços de rastreabilidade na cadeia de fornecimento e flexibilidade de operações através da parametrização das linhas de produção com base em sistemas de identificação RFID.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho passam pelo desenvolvimento de uma solução capaz de cumprir os seguintes objetivos:

- Proposta de um modelo/arquitetura conceptual capaz de permitir de forma rápida e fiável a integração de um sistema de rastreabilidade no ambiente industrial, em conjunto com serviços de parametrização de linhas de produção;
- Garantir a compatibilidade de equipamentos industriais através de protocolos industriais, nomeadamente um dos protocolos mais utilizados na industria (*Modbus*).
- Aumento flexibilidade, agilidade e dinamismo de operações industriais através do uso da tecnologia RFID como meio físico para a identificação e captura automática de dados;
- Monitorização do estado fabril em tempo real através da introdução de serviços TCP/IP (Web server dinâmico);
- Criação de uma base de dados para armazenamento dos serviços de rastreabilidade (MySQL);
- Escalabilidade de novos serviços e reconfiguração (possibilidade do sistema incorporar novos serviços que sejam necessários ao sistema);

²Sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID.

- Incluir no sistema serviços para monitorização e controlo de produção, nomeadamente serviços de alertas GSM para alertas de produção, web server e interface homem-máquina (HMI);
- Procurar desenvolver um modelo capaz de rivalizar outros produtos de mercado em termos de disponibilidade/qualidade de serviços suportados, bem como os custos do sistema.

1.4 Solução proposta

Para a solução proposta, o autor irá focar a sua atenção na inovação e implementação de um sistema integrador capaz de fornecer serviços de rastreabilidade de forma simples e flexível, através da infraestrutura existente na instalação fabril.

A implementação do sistema passa pela conceção e utilização de nodos de identificação e captura automática de dados (baseados na tecnologia RFID) com o objetivo de auxiliar e maximizar a produção e eficiência industrial e garantir a rastreabilidade de produtos ao longo da cadeia de fornecimento.

O sistema a propor pretende ser o mais abrangente possível ao nível das comunicações e compatibilidade de *hardware*, de modo a usufruir do maior número de equipamentos existentes na instalação fabril.

A solução a implementar pelo autor passa por uma versão acrescentada do protocolo *Modbus* como protocolo de comunicação do sistema integrador (*Modbus enhanced*). O uso do protocolo *Modbus* como escolha de interligação dos vários equipamentos deve-se ao facto deste ser um protocolo aberto e de elevada utilização na industria.

A solução a implementar baseia-se numa arquitetura conceptual centralizada, fazendo o uso da comunicação *Modbus* para a ligação dos equipamentos da instalação fabril e nodos de identificação e captura automática de dados (figura 1.1).

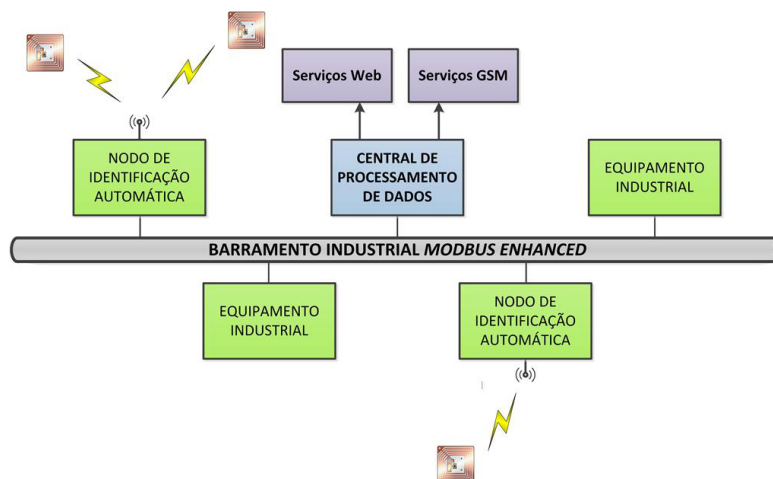


Figura 1.1: Diagrama de interações do sistema integrador.

A solução proposta pelo autor pode ser dividida em três blocos distintos:

- **Módulo Central de Processamento de Dados** - conceção de uma central de operações capaz de permitir a gestão e controlo de operações industriais através

de serviços Web e serviços GSM. A central de operações é encarregue da integração dos equipamentos industriais e equipamentos de identificação automática para operações de rastreabilidade e serviços de parametrização;

- **Módulos de identificação automática** - conceção e integração de equipamentos de identificação automática e recolha de dados baseados na tecnologia RFID, com vista a permitir operações de rastreabilidade nas várias linhas de produção da instalação fabril;
- **Equipamentos industriais** - possibilidade de controlo e monitorização dos equipamentos pré-existent na instalação fabril (sensores, autómatos, drivers de motores, etc) por parte do módulo Central de Processamento de Dados;

No que diz respeito aos equipamentos de identificação automática, o autor irá focar a sua atenção com maior destaque para a tecnologia RFID. O capítulo 3 irá abordar as principais tecnologias de suporte para a identificação e captura automática de dados. A tecnologia RFID, apresentou-se como a tecnologia mais apta para prover serviços de rastreabilidade na industria, pelo que a solução proposta incidiu na escolha desta tecnologia. O RFID ainda não se encontra bem definido para a aplicação em serviços de rastreabilidade. A pouca adoção e aceitação do RFID na industria deve-se essencialmente à inexistência de um consenso entre a partilha de dados na cadeia de fornecimento e complexidade dos sistemas.

Por outro lado, a tecnologia código de barras apresenta boa normalização o que lhe confere uma boa aceitação e adoção global mas que, pelas suas características de identificação impossibilitam a utilização deste tipo de sistemas.

A solução proposta pelo autor passa pela adoção um sistema de identificação baseado na tecnologia RFID, em conjunto com a implementação das propriedades de codificação da tecnologia código de barras (secção 5.4 da página 91). A codificação GS1-128 apresenta uma característica interessante que permite incluir vários serviços de rastreabilidade numa só etiqueta código de barras³. No entanto, a codificação GS1-128 apresenta as limitações da tecnologia código de barras associadas a uma baixa alocação de dados (limitada a 48 caracteres).

Os nodos de identificação e captura automática de dados vão permitir a escrita/leitura de dados de uma determinada *tag*:

- Escrita automática de dados relativos a serviços de rastreabilidade ou parametrização de operações industriais;
- Leitura automática de dados relativos a serviços de rastreabilidade ou parametrização de operações industriais;
- Implementação do protocolo *Modbus enhanced* para a integração do sistema de rastreabilidade e equipamentos industriais na Central de Processamento de Dados (modo *master*).

A Central de Processamento de Dados terá que gerir a comunicação entre os equipamentos industriais presentes na industria (nomeadamente controlo e monitorização de

³Através de *Application Identifiers*.

autômatos, análise sensorial e outro tipo de aquisição de dados). A integração e controlo dos módulos de identificação será efetuada pela Central de Processamento de Dados. No caso do sistema de identificação alertar a Central de Processamento de Dados para uma possível operação industrial ou serviços de rastreabilidade, prevê-se que a central tome decisões relativas a essa operação e, caso seja necessário, posteriormente ter a possibilidade de efetuar a parametrização do equipamento existente na industria.

No que diz respeito ao auxílio de produção, o sistema de identificação irá permitir o uso de serviços GSM. Adotar o sistema de periféricos úteis para a monitorização e controlo da industria é outro dos objetivos que o autor pretende integrar com vista a tornar o sistema mais completo e inovador. O encarregado de produção terá a possibilidade de receção de alertas/notificações importantes através de mensagens SMS bem como o respetivo controlo, caso haja essa necessidade.

A monitorização e controlo remoto da linha de produção é um requisito de grande relevo e importância nos sistemas industriais da atualidade. Este objetivo será garantido através da criação de um servidor Web na Central de Processamento de Dados. Através do protocolo TCP/IP, o encarregado da produção terá a possibilidade de controlar e monitorizar remotamente e em tempo real, o estado de produção da industria em qualquer parte do globo desde que para isso haja uma ligação de dados à internet e um computador pessoal ou equipamento que possibilite uma ligação à internet. O armazenamento de dados relativos aos serviços de rastreabilidade do sistema integrador é garantido com a implementação de uma base de dados. Através de uma trama TCP/IP e o identificador único (*unique ID*) presente na *tag*, será possível armazenar a informação referente aos serviços de rastreabilidade numa base de dados incorporada num computador pessoal (figura 1.2).

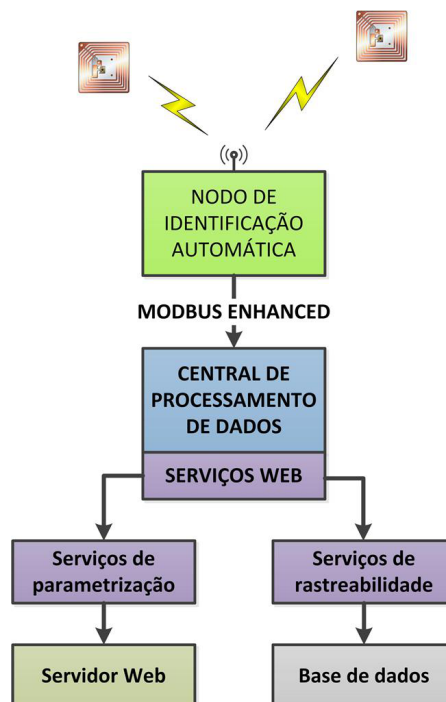


Figura 1.2: Integração dos serviços de rastreabilidade e serviços de parametrização.

O sistema integrador poderá ainda incluir um módulo de interface homem máquina (HMI) que poderá permitir o localmente o controlo manual de operações e a visualização dos diversos controlos da linha através do barramento *Modbus enhanced*.

Na central de dados, o autor prevê a conceção de uma interface analógica capaz de controlar drivers de motores (na Central de Processamento de Dados) ou outros sistemas que possuam uma entrada analógica, nomeadamente autómatos. A inserção deste controlo irá permitir a atuação de saídas analógicas presentes na indústria, efetuando o seu controlo diretamente pela Central de Processamento de Dados.

1.5 Organização da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em sete capítulos (incluindo o atual capítulo 1 - Introdução) e três anexos para análise dos esquemas elétricos implementados. Segue-se um breve resumo dos principais tópicos de cada capítulo e anexos da presente dissertação.

O atual capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao tema em análise, procurando evidenciar ao leitor o enquadramento do trabalho, os problemas atuais dos sistemas de rastreabilidade, o seu impacto económico, bem como a solução proposta pelo autor para a resolução dos problemas encontrados.

O capítulo 2 inclui um estudo do conceito Rastreabilidade, procurando explicar ao leitor a sua importância para a indústria, consumidor e entidades reguladoras bem como os seus principais objetivos. Para além disso, este capítulo procura dar resposta às diferentes abordagens na implementação de sistemas de rastreabilidade (conceitos de *tracking*, *tracing*, rastreabilidade interna, rastreabilidade na cadeia de fornecimento). Os suportes físicos para a identificação e captura automática de dados são apresentados neste capítulo como um ponto de partida para o estudo das tecnologias de suporte apresentadas no capítulo seguinte.

O capítulo 3 apresenta um estudo das principais tecnologias de suporte para a identificação e captura automática de dados, que constituem o grupo das tecnologias AIDC (*Automatic Identification and Data Capture*). O capítulo em questão apresenta maior destaque para a tecnologia código de barras e a tecnologia RFID visto serem as mais adequadas para serem inseridas como suporte físico em sistemas de rastreabilidade. São apresentados neste capítulo as principais características e limitações das duas tecnologias, bem como as principais diferenças das estruturas de codificação de dados EPC e UPC para os suportes físicos RFID e código de barras respetivamente.

No capítulo 4 são analisados os principais protocolos necessários para a implementação do sistema⁴. É efetuado uma análise do protocolo ISO/IEC 14443 que abrange as características de funcionamento da tecnologia RFID para comunicações de proximidade (denominados *Proximity Cards*) disponíveis na banda HF (nomeadamente a frequência situada nos 13.56 MHz). O protocolo apresenta as principais características físicas, potência e interface do sinal RF, definição dos métodos de modulação e os protocolos de comunicação (inicialização, trama de dados, algoritmos de anti-colisão, estados da *tag*, etc).

O meio físico RS-485 e protocolo industrial *Modbus* são analisados neste capítulo com

⁴Capítulo relativo ao estudo dos protocolos de interface entre o leitor e *tag* RFID, protocolo Modbus e protocolo TCP/IP. Para o caso de o leitor estar familiarizado com os conceitos, propõe-se a leitura do capítulo 5.

a finalidade de definir e implementar a estrutura de integração do sistema a implementar. A secção 4.2.2 contém uma análise ao meio físico RS-485 onde são apresentadas as principais características elétricas, o dimensionamento do meio físico (nomeadamente as resistências de terminação) e as regras necessárias ao funcionamento em rede.

Nos dias de hoje, a integração de serviços Web surge quase como uma necessidade para a monitorização e controlo de operações na indústria. O protocolo TCP/IP foi alvo de análise neste capítulo a integração de serviços Web (nomeadamente um servidor Web) no capítulo 6.

O capítulo 5 apresenta a análise da adoção da arquitetura a ser implementada para o automatismo, seleção da plataforma computacional, estrutura da rede e a proposta de integração dos serviços de rastreabilidade e serviços de parametrização.

O capítulo 6 ilustra o trabalho desenvolvido para a implementação do automatismo de integração, através de uma topologia *top-down*.

O capítulo 6.3.4 apresenta as conclusões relativas ao estudo da presente dissertação, incluindo propostas para futuros desenvolvimentos do sistema integrador desenvolvido.

O anexo A1 apresenta os esquemas elétricos relativos aos adaptadores de rede para os equipamentos *Master* e *Slaves*, desenvolvidos pelo autor para a integração dos equipamentos segundo o protocolo *Modbus*.

O anexo A2 ilustra o esquema eléctrico desenvolvido pelo autor para a integração e controlo dos seis módulos que constituem o sistema de atuações analógicas de 24 canais em correntes ou tensão.

O anexo A3 apresenta o esquema eléctrico dos módulos RFID concebidos pelo autor para a integração dos serviços de rastreabilidade e serviços de parametrização através da rede *Modbus enhanced*.

1.6 Revisão do estado da arte

De seguida serão apresentados alguns estudos desenvolvidos no âmbito de dissertações que compõem o estado da arte dos sistemas de rastreabilidade:

“Rastreabilidade de componentes na cadeia de fornecimento” (2005), Universidade de Aveiro[26]

O autor Neves, Silvério Manuel do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial apresenta uma contribuição teórica através da elaboração de um modelo de rastreabilidade tendo como tecnologia de suporte o RFID. Com base num inquérito efetuado a 121 empresas⁵ que apresentam a implementação de sistemas de rastreabilidade, o autor traçou um modelo de rastreabilidade mais apropriado para a aplicação prática de um processo de rastreabilidade, com recurso ao uso da tecnologia RFID.

Do estudo efetuado por Neves, Silvério Manuel, destaca-se que 82,1% têm em conta a necessidade do sistema de identificação não precisar de linha de vista para a comunicação entre o leitor e a *tag*, pelo que a tecnologia RFID é o caminho a seguir para novas implementações dos sistemas de rastreabilidade.

Cerca de 83% dos casos implementam os sistemas de rastreabilidade através de uma perspetiva interna e circuito fechado. O inquérito realizado aponta a área da produção

⁵Das quais 47 foram rejeitadas por falta de informação.

como o setor que apresenta a maior utilização de sistemas de rastreabilidade (cerca de 74,5% das empresas com atividade na área da produção), sendo que a maioria apresenta processos de transformação repetitivos (58,8%). De acordo com Neves, Silvério Manuel, a indústria automóvel apresenta uma fatia significativa na implementação de sistemas de rastreabilidade. O estudo aponta que 26,9% dos casos estão relacionados com a indústria automóvel.

Em relação às propriedades do sistema de identificação e captura automática de dados, o estudo aponta a necessidade do modo de leitura e escrita da *tag* em 50% dos casos analisados e 48,7% dos casos aponta para a capacidade de resistir a ambientes industriais (poeiras, líquidos, etc).

“Radio Frequency Identification: O futuro da Gestão de *Stocks* na Grande Distribuição” (2008), Universidade Nova de Lisboa[36]

O autor Leal, José Manuel aponta para o facto do crescimento agressivo que tem ocorrido na indústria nos últimos anos tem contribuído para uma ineficiência na gestão de *stocks*, tendo como consequências principais rupturas de *stocks* e maiores gastos na produção. Perante uma implementação favorável das tecnologias de informação e comunicação na indústria, é possível melhorar significativamente a gestão empresarial, torná-la mais competitiva, permitir uma redução de custos dos produtos, melhor prestação de serviços ao cliente e aumento acrescido da qualidade. A implementação de um sistema de rastreabilidade requer um conhecimento atual da área e nem sempre a informação comercial revela-se elucidativa. O autor efetuou uma análise da tecnologia RFID como tecnologia de suporte para a otimização da gestão de *stocks* para as empresas de Grande Distribuição.

“Sistema de gestão da produção para ambientes industriais” (2008), Universidade de Aveiro[22]

A globalização exige uma adaptação constante das empresas de forma a permanecerem competitivas. A empresa Simoldes Aços apresentava um sistema de gestão da informação que não incorpora serviços de rastreabilidade. Houve a necessidade de integrar, no sistema de gestão de informação da Simoldes Aços, funções que permitissem a rastreabilidade do fluxo de componentes e matérias-primas. O autor da presente dissertação Aires, Afonso Costa propôs o desenvolvimento de novas funcionalidades para a otimização da gestão documental durante o desenvolvimento de processos com vista à eliminação do fluxo de papel existente. A implementação do sistema proposto teve por base o estudo de modelos de gestão de recursos baseados no uso de tecnologias de informação, nomeadamente o estudo do ERP (*Enterprise Resource Planning*), ECM (*Enterprise Content Management*), CRM (*Customer Relationship Management*), APS (*Supply Chain Management*) e SCM (*Supply Chain Management*); Em termos de implementação, o autor teve como objetivo o desenvolvimento de serviços de rastreabilidade baseados nos sistemas de gestão de informação ERP e SCM para gestão da cadeia de fornecimento.

1.6.1 Sistemas de rastreabilidade

Atualmente as soluções para os sistemas de rastreabilidade são definidos pela GS1. A GS1 é uma organização sem fins lucrativos que se dedica ao desenvolvimento e implementação de normas que sejam globalmente aceites e soluções que permitam obter uma maior eficiência e gestão da cadeia de fornecimento. A GS1 define dois *standards* para assegurar a captura automática de informação comercial. A captura pode ser feita através das tecnologias de suporte baseadas no código de barras ou RFID, definidas pelas normas *GS1 Barcodes* e *EPCglobal* respetivamente.

GS1 Bar codes

A *GS1 Bar codes* define uma norma global para a codificação de produtos através do código de barras, denominada de *GS1 Data Bar*. A *GS1 Data Bar* é o estado da arte em termos de identificação de ativos através da tecnologia código de barras. Resumidamente, esta norma permite a codificação de produtos com dimensões reduzidas (de difícil codificação) aliado ao transporte de um maior volume de dados sob a mesma etiqueta. A implementação da *GS1 Data Bar* é recente (ano de 2010) e apresenta-se como uma boa solução de integração dado que podem ser utilizados os mesmos identificadores-chave GS1. De notar que os identificadores-chave GS1 são definidos pelo código GTIN (*Global Trade Item Number*) e encontram-se em utilização desde 1970.

A secção 3.1 da página 29 apresenta o *standard* EAN (*European Article Number*) como um dos mecanismos de maior utilização e aceitação global na identificação de produtos através da tecnologia de código de barras. O EAN é definido pela Organização de Standards GS1 e antecessor da norma GS1 Data Bar. A codificação *Data bar* é uma evolução do EAN⁶, para além de integrar a codificação GTIN, necessita de menos espaço para alocação dos dados e incorpora informações adicionais tais como peso do produto, preço, data de validade e número do lote (figura 1.3).

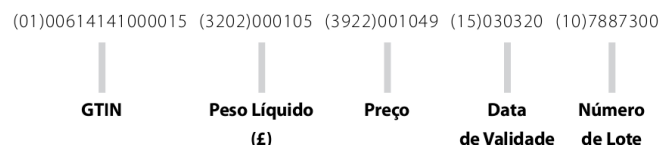


Figura 1.3: Exemplo de constituição de um *GS1 Data bar*[7].

Não obstante o importante desenvolvimento que tem havido na área da identificação e captura automática de dados a partir da tecnologia código de barras, é importante salientar que esta não será a tecnologia mais promissora para futuros serviços de rastreabilidade. Como anotação, o leitor deverá tomar conhecimento que os serviços de rastreabilidade baseados na tecnologia código de barras ainda apresentam uma elevada utilização em vários setores pela sua aceitação global e boa definição de *standards* mas que, pelas suas características de identificação de itens, não dão resposta a sistemas de rastreabilidade automatizados e apresentam uma baixa cadência de dados. Mais tarde, serão abordadas as principais características das tecnologias de suporte para a implementação de sistemas de rastreabilidade.

⁶Note-se que este apenas permite a utilização do código GTIN para a identificação do produto.

Para o caso do leitor sentir a necessidade de obter um maior detalhe de comparação das tecnologias de suporte, as tabelas 2.2 e 3.2 das páginas 27 e 44 dão uma resposta rápida aos argumentos consumados pelo autor.

De notar que a própria GS1 admite na citação abaixo que a codificação *Data Bar* surge como ponto de migração para os sistemas de rastreabilidade EPC (*Electronic Product Code*) num futuro próximo. A organização GS1 acredita que o futuro dos serviços de rastreabilidade passa por uma transição dos sistemas de identificação baseados na norma EPC que, por outras palavras passa pela adoção/implementação de sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID.

GS1 DataBar and EPC make a new horizon of product information visible in the supply chain for increased collaboration between trading partners. GS1 DataBar provides a good migration path to EPC in the near future. The two technologies complement each other.[8]

1.6.2 EPC Global

A EPC Global é um *standard* aberto que define um conjunto de normas convencionais para o uso da tecnologia RFID como plataforma de identificação e captura automática de dados. O *standard* em causa define o EPC (*Electronic Product Code*) ao invés do código GTIN (utilizado em plataformas de sistemas baseados na tecnologia código de barras). A principal diferença do EPC face ao código GTIN reside na sua capacidade de identificação. O código GTIN apenas identifica um determinado grupo de produtos não permitindo a total rastreabilidade do produto (apenas do lote). A codificação EPC visa colmatar a imperfeição do GTIN ao conter internamente um número de série único para cada item.

Constituição do sistema de rastreabilidade EPCGlobal

Atualmente o estado da arte dos sistemas de rastreabilidade baseados em plataformas com tecnologia RFID são constituídos por seis sub-sistemas, dos quais se destacam:

- **EPC** - Define um número/código único que vai permitir a identificação específica de um item/produto;
- **Tag EPC** - Etiqueta baseada na tecnologia RFID que vai conter internamente o número EPC e assim permitir a identificação do produto;
- **Leitor EPC** - Leitor baseado na tecnologia RFID que permite a leitura número EPC contido na *tag*.
- **Middleware EPC** - O *Middleware* não é mais do que um software intermédio (ou integrador) entre os sistemas de captura automática de dados (leitores e *tags* EPC) e tecnologias de gestão de informação. Os leitores RFID geram uma elevada quantidade de dados relativos à identificação das *tags*. O *middleware* colecta a informação gerada pelos leitores, organiza e trata os dados de forma a estarem disponíveis para o sistema a jusante. O *middleware* deve proporcionar eventos aos sistemas de gestão de informação (nomeadamente o ERP). Seguidamente o ERP, realiza a seleção e coleção de informação que seja relevante para o sistema de gestão de informação;

- **EPC Information Services (EPCIS)** - Plataforma de suporte definida pela *EPCglobal Network* com a finalidade de prover serviços de partilha de dados dos sistemas de rastreabilidade entre parceiros comerciais. Através de uma autenticação/autorização, os parceiros comerciais (empresas) podem partilhar facilmente dados relativos à rastreabilidade dos itens na cadeia de fornecimento;
- **Discovery Services** - Os *Discovery Services* não são mais do que um conjunto de serviços que permitem a pesquisa de informação (local e data de produção de um item por exemplo) de um determinado número EPC através do serviços de busca ONS (*Object Name Service*). Os *Discovery Services* são geridos pelo sistema a montante EPCIS.

Os itens acima mencionados definem ao estado da arte da constituição dos sistemas de rastreabilidade. A figura 1.4 ilustra o diagrama de funcionamento de um sistema de rastreabilidade baseado na plataforma de identificação e captura de dados RFID definido pela *EPCglobal Network*.

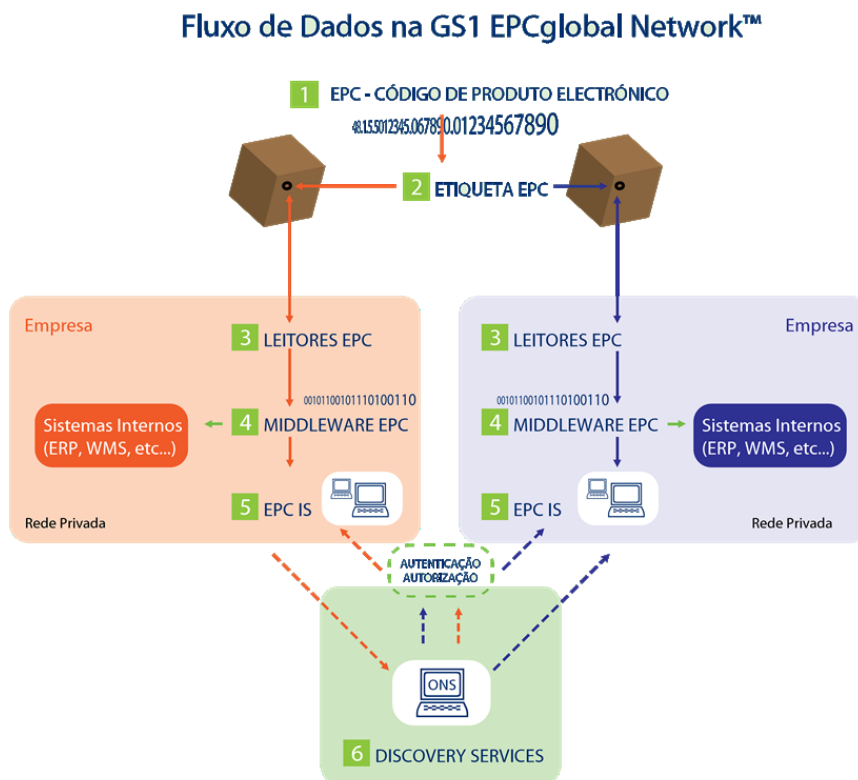


Figura 1.4: Constituição do sistema de rastreabilidade *EPCglobal Network*[24].

No entanto, nem todos os sistemas de rastreabilidade cumprem todos os itens acima referidos. A maior parte dos sistemas de rastreabilidade apresenta apenas os quatro primeiros itens: código EPC, Tag EPC, Leitor EPC e *Middleware EPC*, garantindo a rastreabilidade numa perspetiva interna da instalação fabril. O *Middleware* encarrega-se de filtrar o volume de dados capturado pelos leitores EPC para posteriormente repassar

essa informação ao sistema de gestão de recursos internos da empresa (ERP, bases de dados, etc).

Os dois últimos itens apresentam a vantagem de aumentar a extensibilidade dos sistema de rastreabilidade para níveis externos à empresa, permitindo a interligação de informação relativa ao estado e localização do produto durante todo o seu ciclo de vida (informação disponível durante a produção, distribuição e venda/revenda do produto).

Capítulo 2

Rastreabilidade

2.1 Conceito de rastreabilidade

O conceito rastreabilidade define a capacidade de acompanhar o ciclo de vida de um determinado item, desde a origem das matérias primas até à sua conclusão. A norma ISO 8402:1994 apresenta a definição de rastreabilidade como sendo a habilidade de rastrear o histórico, aplicação ou localização de um determinado item, através de meios de identificação.

The ability to trace the history, application or location of an entity by means of recorded identifications[21].

A rastreabilidade consiste na identificação do produto de modo a garantir o controlo da qualidade e deteção de possíveis anomalias nos processos inerentes à sua conceção. Os principais desafios na implementação de um sistema de rastreabilidade são a sua rapidez e eficiência na gestão da cadeia de fornecimento. As tecnologias de identificação automática (AIDC) apresentam um papel muito importante na implementação da rastreabilidade na indústria. A tecnologia RFID é a tecnologia que mais se destaca nas operações de gestão da cadeia de fornecimento pelo facto de permitir grande flexibilidade e rapidez de processos. Através de um código de identificação único, a origem e destino do produto, bem como registos de produção são facilmente identificados, permitindo uma melhor gestão da produção e rastreabilidade dos processos.

2.2 Diferentes abordagens da rastreabilidade

A definição de rastreabilidade apresenta duas abordagens distintas.

- **Tracking** - consiste na aptidão de identificar um determinado item/produto ao longo da cadeia de fornecimento, ou seja, desde matéria-prima até ao ponto de consumo (seguimento do produto);
- **Tracing** - consiste na habilidade de verificar o estado passado de um determinado item/produto pelas suas referências e registos (histórico do produto/item).

A figura 2.1 ilustra os diferentes percursos do *tracking* e *tracing* da rastreabilidade na cadeia de fornecimento.

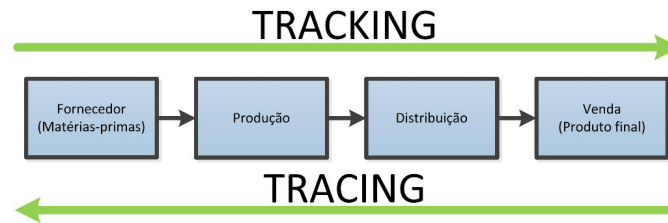


Figura 2.1: Ilustração do *Tracking* e *Tracing*.

A complexidade de implementação e custo de um sistema de rastreabilidade faz com que haja a necessidade de ponderar e analisar a estrutura que melhor satisfaça as necessidades do projeto. É neste contexto que surgem dois tipos distintos de rastreabilidade:

- Rastreabilidade interna;
- Rastreabilidade na cadeia de fornecimento.

A rastreabilidade interna é aplicada apenas a atividades de domínio interno da empresa onde não existe a necessidade de relacionar informações externas do produto com os parceiros da cadeia de fornecimento. Uma vez que se restringe apenas a requisitos internos, apresenta um escopo limitado em termos de rastreabilidade.

A rastreabilidade na cadeia de fornecimento acompanha o ciclo de vida do produto, onde existe a necessidade de partilhar recursos e informações entre as várias etapas/localizações do produto (estado do produto, localização, etc) na cadeia de fornecimento (figura 2.2). O protocolo de rastreabilidade proposto pela organização GS1 estabelece que todos os itens têm que estar devidamente identificados na origem da sua criação, recomendando o uso do GTIN (*Global Trade Item Number*) ou SSCC (*Serial Shipping Container Code*). A identificação do item deve continuar anexada no produto até que este seja consumido ou destruído[30].

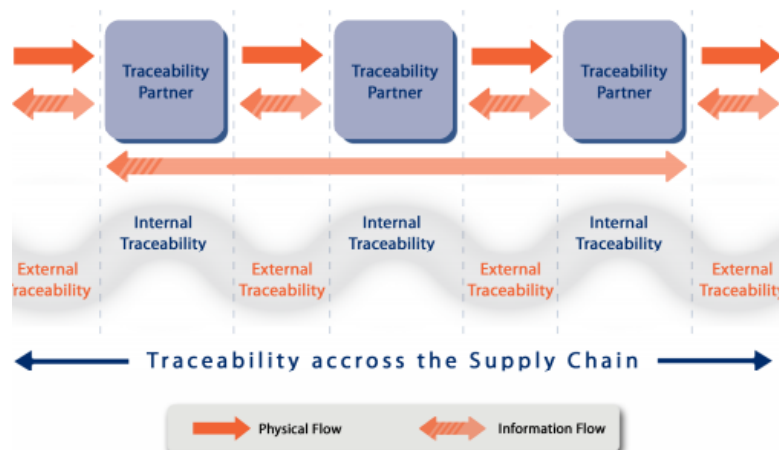


Figura 2.2: Rastreabilidade na cadeia de fornecimento[30].

A escolha do tipo de rastreabilidade deverá responder às necessidades da quantidade de informação necessária para a sua implementação. Para alguns casos a rastreabilidade

interna é suficiente para garantir a informação necessária à identificação do produto, satisfazendo os requisitos propostos pela empresa¹. A sua implementação apresenta custos inferiores face à rastreabilidade na cadeia de fornecimento uma vez que esta não partilha informações com processos externos (não existe a necessidade de transparência de informação entre as organizações).

A rastreabilidade na cadeia de fornecimento prevê o compartilhamento de informações entre as várias localizações do produto. Atualmente, o uso de serviços Web e RFID² apresentam-se como plataformas necessárias para a integração de serviços de rastreabilidade na indústria.

Os processos de rastreabilidade são diretamente influenciados pelo grau de integração do sistema. Quanto maior for o nível de integração entre os demais processos da cadeia de fornecimento, melhor será a capacidade de efetuar rastreabilidade.

2.3 Importância da rastreabilidade

Os sistemas de rastreabilidade apresentam importância e benefícios não só na indústria como também para os consumidores e governo.

2.3.1 Indústria

A implementação de sistemas de rastreabilidade apresenta vantagens ao nível da indústria:

- Melhor gestão de *stocks*, maior controlo e eficiência de processos;
- Proteção dos interesses do consumidor;
- Contribuição para a qualidade e certificação dos produtos;
- Otimização da distribuição (menor atraso dos transportes, maior eficiência da organização);
- Detecção de potenciais falhas (por vezes antes de serem expedidas para o consumidor);
- Permitir a apuração de responsabilidades (origem do problema e respetivas entidades envolvidas);
- Facilidade de intervenção na presença de problemas (localização, imobilização ou retirada do/s produto/s);
- Melhor gestão da produção na presença de erros (reprocessamento de lotes, etc);
- Contribuição para a diminuição dos custos de produção;
- Garantia da proteção e saúde dos consumidores.

¹A maior parte das empresas ainda apresenta uma perspetiva de domínio interno.

²Tendo em conta as limitações da tecnologia código de barras na indústria.

2.3.2 Consumidor

Os sistemas de rastreabilidade afetam diretamente o consumidor. Ao serem tomadas medidas de rastreabilidade, o consumidor tem a garantia que serão tomadas as medidas necessárias para a prevenção contra eventuais falhas cometidas no processamento dos produtos, de forma rápida e eficiente. No caso da prevenção não ser possível, o funcionamento de um bom sistema de rastreabilidade garante a facilidade de intervenção e total identificação dos produtos na cadeia de fornecimento. A localização e imobilização/retirada dos produtos é facilitada com os sistemas de rastreabilidade, transmitindo ao consumidor um elevado grau de confiança.

Os sistemas de rastreabilidade proporcionam também maior informação ao consumidor devido à transparência informativa ao longo de toda a cadeia de fornecimento, desde a sua produção até ao consumidor final[25].

2.3.3 Autoridades competentes

A entidades reguladores beneficiam também dos sistemas de rastreabilidade pelo facto de permitirem uma melhor eficácia e gestão de incidências.

- Colaboração mútua entre as entidades reguladoras e a empresa com vista à otimização dos recursos;
- Facilidade de controlo por parte das entidades reguladoras (auditorias periódicas, consulta de dados informatizados).

2.4 Setores da cadeia de fornecimento

Existem diferentes participantes na cadeia de fornecimento, cada um deles com funções distintas. A cadeia de fornecimento é constituída essencialmente por quatro participantes. No entanto, o leitor deve tomar conhecimento que uma determinada empresa pode cumprir mais do que uma participação na cadeia de fornecimento. Uma empresa que se dedique ao setor da produção muitas das vezes inclui a participação no setor de armazenamento e distribuição do item rastreado. O setor de transporte muitas das vezes também inclui a participação no armazenamento e transporte.

- **Produção** - Setor que recebe e transforma os *inputs*/matéria-prima num *output*/produto. Usualmente costuma haver mais do que um setor de produção;
- **Armazém/Distribuição** - Setor responsável pelo armazenamento dos itens rastreados e distribuição dos mesmos para os diferentes pontos de venda;
- **Transporte (3PL ou *Third Party Logistics Provider*)** - Setor responsável pelo transporte e entrega do item rastreado;
- **Ponto de venda (POS ou *Point of Sale*)** - Setor final da cadeia de fornecimento, destinado à venda do produto ao consumidor.

2.5 Rastreabilidade: informação

Para que seja possível cumprir os objetivos da rastreabilidade, os sistemas deverão apresentar as seguintes propriedades[25]:

- Identificação do produto;
- Dados do produto rastreado;
- Interligação entre a identificação do produto e respectivos dados.

A identificação do produto deve permitir a fácil localização da fábrica e fabricante de um determinado item em qualquer ponto da cadeia de fornecimento. Os dados relativos ao produto/item a ser rastreado devem conter:

- **Identificação da origem** - informações relativas à proveniência das matérias-primas que são utilizadas nos processos de produção do respectivo produto/item;
- **Identificação de destino** - informação relativa ao seguimento/destino do produto (localização, datas, etc);
- **Dados relativos à manipulação do produto** - informação relativa a operações de produção do item/produto;
- **Dados de controle** - informação relativa a eventuais controlos de produção e respectivos resultados.

Os sistemas de rastreabilidade devem garantir a interligação entre a identificação do produto e os dados a ele inerentes para a sua identificação e descrição. A figura 2.3 ilustra um exemplo da informação necessária para a implementação de um sistema de rastreabilidade. O tipo e quantidade de informação depende do sistema de rastreabilidade a ser implementado. Os sistemas de rastreabilidade devem conter a identificação do produto/processo através de um elemento chave definido pelo sistema de rastreabilidade. Para cada produto/processo, o sistema de rastreabilidade deverá conter dados relativos ao produto/processo a identificar. Dependendo das necessidades do sistema, poderá haver a necessidade de implementar especificações adicionais.

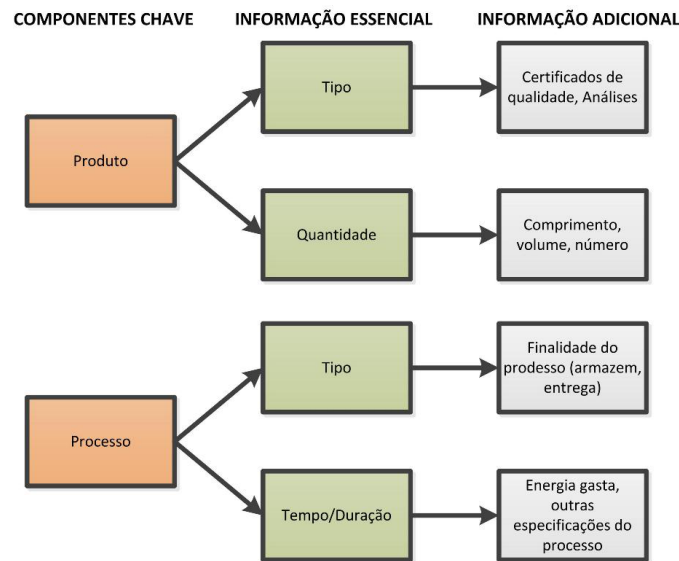


Figura 2.3: Componentes base de um sistema de rastreabilidade[28].

2.6 Rastreabilidade dos itens

Os itens não são todos iguais e não apresentam a mesma informação a ser rastreada. A informação presente no item está dependente da indústria em se insere e do grau de controlo necessário (precisão da identificação). O item a ser rastreado pode ser uma unidade logística (com um conjunto de vários itens) ou um item unitário a ser rastreado nos pontos de venda.

A organização GS1 define basicamente quatro níveis de localização histórica dos itens a serem rastreados. Dependendo do nível de localização histórica, são utilizadas diferentes codificações para cumprir as exigências de identificação do item a ser rastreado. Note-se que, apesar das informações serem diferentes para os diferentes itens a serem rastreados, é maioritariamente utilizada a codificação GS1-128, com excepção dos itens que atravessam o ponto de venda:

- **Rastreabilidade de uma unidade de embarcação** - Uso da codificação SIN (*Shipment Identification Number*) para rastrear unidades de embarcações. Uso da codificação GS1-128 do código de barras;
- **Rastreabilidade de uma unidade logística** - utilização do SSCC (*Serial Shipping Container Code*) como mecanismo de identificação da unidade logística. Uso da codificação GS1-128;
- **Rastreabilidade de um item comercial que não atravessa o ponto de venda** - Existem basicamente três tipos de identificação. No caso do rastreio dos itens através da tecnologia código de barras, pode apenas ser utilizado o número GTIN ou uma codificação que apresente o número GTIN e o respetivo número de lote do item. Em relação à identificação através da tecnologia RFID, pode ser utilizado o esquema de codificação EPC: composto por um número GTIN e um número de série único. Este tipo de esquema EPC é denominado de SGTIN. Uso das codificações GS1-128 e RSS;

- **Rastreabilidade de um item comerciável que atravessa o ponto de venda**
- A rastreabilidade do item comercial apresenta uma estrutura de identificação semelhante às unidades que não atravessam os pontos de venda. Uso das codificações EAN/UPC e RSS para o rastreamento deste tipo de itens.

2.7 Desafios da rastreabilidade

A implementação de um sistema de rastreabilidade não é simples. A aceitação de um sistema de rastreabilidade numa empresa apresenta vários desafios a serem ultrapassados, dos quais se destacam:

- Custo que o sistema acarreta;
- Complexidade de integração do sistema;
- Falta de normalização dos sistemas de rastreabilidade³;
- Falta de dados relativos ao custo/benefício dos sistemas de rastreabilidade;
- Resistência à mudança por parte dos trabalhadores e gestão da empresa.

O custo é um dos principais desafios da implementação de um sistema de rastreabilidade (principalmente sistemas baseados na tecnologia RFID). Embora existam inúmeras vantagens para a sua utilização, os sistemas de rastreabilidade não influenciam diretamente o rendimento produtivo. As vantagens dos sistemas de rastreabilidade dependem fortemente da forma como são utilizados, o que para alguns casos pode não apresentar vantagens produtivas para a empresa. O elevado custo e dificuldade de implementação⁴ torna difícil a sua aceitação global.

Outra grande desvantagem consiste na resistência à mudança. A implementação destes sistemas acarreta a necessidade de mudança de mentalidades da gestão e dos trabalhadores o que, muitas das vezes constitui um enorme desafio empresarial.

2.8 Identificação - Suportes físicos

Um bom sistema de rastreabilidade requer o uso de tecnologias de identificação automática para uma gestão rápida e eficiente da cadeia de fornecimento. O uso de sistemas de identificação manuais, na maior parte dos casos são impraticáveis devido a:

- Fraca agilidade e eficiência de processos (fraca automatização do sistema);
- Maior potencialidade de ocorrência de erros (em destaque os erros humanos);

³Faltas de normas leva à dificuldade de transparência de dados e baixa colaboração dos diferentes setores da cadeia de fornecimento.

⁴Relativamente aos sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID, existe dificuldade de partilha de dados na cadeia de fornecimento devido a haverem muitas soluções proprietárias e fechadas no mercado.

As tecnologias de identificação automática, pela sua constante evolução e rápido crescimento, permitem uma melhor gestão dos sistemas de rastreabilidade. A tecnologia de código de barras e RFID são as tecnologias utilizadas para a implementação de serviços de identificação automática necessários para os sistemas de rastreabilidade.

A tecnologia código de barras apresenta formatos de codificação com capacidades até 2000 caracteres. Dependendo das características do sistema RFID, a cadência e armazenamento de dados é muito superior à tecnologia código de barras podendo armazenar até 8 Mbytes, com um alcance de leitura até 100 metros de distância (caso particular dos sistemas RFID baseados em *tags* ativas).

2.8.1 Código de barras

O EAN/UCC (*European Article Numbering/Uniform Code Council*) é um conjunto de padrões que possibilita o rastreio de um dado produto na cadeia de fornecimento através da captura de dados por código de barras. A secção 3.1 (página 29) aborda as principais características da codificação EAN-13, utilizada mundialmente nos pontos de venda. Outros tipos de codificação são utilizados para a captura de dados, dos quais se destacam o GS1-128 e o ITF-14.

A identificação dos vários formatos é possível graças ao Número Mundial de Item Comercial, conhecido como GTIN (*Global Trade Item Number*), definido pela organização GS1. O GTIN define uma chave para a identificação global dos produtos[31] e pode conter entre 8 a 14 dígitos de informação. A estrutura GTIN é definida por três elementos:

- **Identificação da companhia (definido pela GS1);**
- **Identificação do item;**
- **Verificação de erros.**

A figura 2.4 ilustra a disposição do código GTIN-13. A tabela 2.1 demonstra o funcionamento do GTIN para os formatos EAN-13, EAN-8 e ITF-14.

Global Trade Item Number (GTIN-13 Structure)												
GS1 Company Prefix						Item Reference						Check Digit
N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	N ₁₀	N ₁₁	N ₁₂	N ₁₃

Figura 2.4: Estrutura GTIN[31].

Codificação	Código do produto	Código GTIN
EAN-13	5601049213991	05601049213991
EAN-8	80052395	00000080052395
ITF-14	98765432109213	98765432109213

Tabela 2.1: Estrutura GTIN para diferentes codificações (EAN-13, EAN-8 e ITF-14)

O uso do GTIN em sistemas de rastreabilidade apresenta algumas vantagens a ser consideradas. Atualmente encontra-se normalizado na maior parte do países e garante

a total compatibilidade na rastreabilidade dos itens comerciáveis nos pontos de venda. Informação adicional (datas, peso, etc) é também permitido pelos sistemas GTIN[31] com vista a garantir a agilidade, eficiência e rapidez do processo⁵.

A organização GS1, para além do GTIN, define outros sistemas para a identificação de itens, do quais se destacam:

- GLN (*Global Location Number*);
- SSCC (*Serial Shipping Container Code*);
- GRAI (*Global Returnable Asset Identifier*);
- GIAI (*Global Individual Asset Identifier*);
- GSRN (*Global Service Relation Number*);
- GDTI (*Global Document Type Identifier*);
- GSIN (*Global Shipment Identification Number*);
- GINC (*Global Identification Number for Consignment*).

2.8.2 RFID

A tecnologia RFID permite a implementação de sistemas de rastreabilidade através da codificação EPC. A secção 3.2.9 (página 50) aborda o funcionamento do EPC. Apesar das enormes vantagens dos sistemas RFID, ainda existem algumas limitações a serem ultrapassadas. Existe a necessidade de normalização dos sistemas de rastreabilidade com utilização do RFID. A globalização da tecnologia ainda não é possível pela incompatibilidade das frequências suportadas pelos países (relembrar a figura 3.12). Os leitores RFID terão que suportar a mesma banda de frequência para a correta leitura da informação presente nas etiquetas, em qualquer região do globo terrestre. Existe a limitação do custo da tecnologia. Dependendo da características do sistema RFID, as etiquetas apresentam custos médios entre os 50 cêntimos a 2 euros. As etiquetas ta tecnologia código de barras apresentam custos desprezáveis, uma vez que são impressos na própria embalagem do produto.

A aceitação desta tecnologia a nível global envolve:

- Minimização do custo da tecnologia - destaque para a diminuição do custo unitário da etiqueta;
- Criação de padrões/normas - garantir a compatibilidade de todos os sistemas RFID, nomeadamente a frequência de operação;
- Garantir a robustez dos sistemas de identificação RFID - Imunidade a interferências com outros equipamentos, objetos metálicos, líquidos, etc;

⁵Caso particular da codificação *GS1 Data bar*.

- Certificação dos sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID - Até aos dias de hoje não existe um consenso na partilha e utilização da informação dos sistemas de rastreabilidade. As soluções existentes no mercado são caras e proprietárias, dificultando o fluxo de informação na cadeia de fornecimento. A solução passa por simplificar os modelos de rastreabilidade atuais e obter certificação ISO para a partilha de informação entre os sistemas.

2.8.3 Comparação dos principais sistemas de rastreabilidade

A tabela 2.2 apresenta as características dos principais sistemas de transmissão de informação, aplicados à rastreabilidade de produtos, dos quais se destacam a documentação manual, códigos de barras (uni-dimensional e bidimensional) e RFID.

	Doc. manual	Código de barras (linear)	Código de barras (2D)	RFID
Erros de leitura	Operador	Baixo	Baixo	Baixo
Durabilidade do sistema	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Reescrita de dados	Manual (operador)	Não	Não	Sim
Processamento de informação	Muito Lento	Lento	Lento	Rápido
Versatilidade da leitura de informação	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Custo do sistema	Depende do país e do tipo de dados	Baixo	Baixo	Alto

Tabela 2.2: Análise dos diferentes tipos de sistemas de rastreabilidade[29].

Capítulo 3

Tecnologias de suporte

O acrónimo AIDC (*Automatic Identification and Data Capture*) abrange a categoria das tecnologias que permitem a identificação de pessoas ou objetos através da captura de dados de forma automática, sem a necessidade de intervenção humana. Os dados adquiridos pelas tecnologias presentes neste grupo permitem a caracterização da pessoa ou objecto de forma única, que posteriormente é processada e armazenada num computador pessoal ou equipamento similar. Segue-se uma lista das principais tecnologias que integram o grupo AIDC.

- Código de barras;
- Identificação por radiofrequência (RFID);
- Reconhecimento óptico de caracteres (OCR);
- Banda magnética;
- *Smart Cards*;
- Reconhecimento de voz;
- Biométrico.

3.1 Código de barras

A tecnologia código de barras é ainda uma tecnologia promissora e de elevada utilização universal. Existem vários protocolos que definem diversos tipos esquemas de codificação para o uso desta tecnologia (mais de 200 simbologias diferentes[33]) e mesmo assim apresentam conformidade global, o que facilita a sua aceitação e utilização na cadeia de fornecimento. Os componentes principais do sistema (tal como a tecnologia RFID) são divididos em duas categorias:

- Leitor de código de barras (figura 3.1);
- Etiqueta de código de barras.



Figura 3.1: Leitor de código de barras.

O leitor de código de barras efetua a leitura da etiqueta através da emissão de um raio laser que por sua vez é reflectido ao atingir a etiqueta. A reflexão do laser é alterada consoante as barras sejam brancas ou pretas. A informação guardada no código de barras representa um código binário que está dependente da espessura e afastamento das barras sobrepostas paralelamente (caso particular dos códigos de barras do tipo linear).

3.1.1 Tipos de código de barras

Existem diferentes estruturas de códigos de barras. As suas diferenças residem principalmente no tipo de caracteres (apenas números ou alfa-numéricos), comprimento das barras, representação da informação (linear ou 2D), quantidade de dados e métodos de codificação dos caracteres. A representação das diferentes codificações permitidas pela tecnologia código de barras podem ser divididos em dois sistemas:

- **Código de barras linear/uni-dimensional** - São exemplos as codificações *EAN/UPC*, *GS1 Data Bar*, *PostNet*, *ITF-14*, *GS1-128*, etc;
- **Código de barras bidimensional (2D)** - O *QR Code*, o *PDF417* e o *Data Matrix* são alguns exemplos de sistemas de codificação de informação sob a forma de matriz 2D.

A representação da informação contida num código de barras divide-se em duas categorias:

- **Representação numérica** - São apenas utilizados dígitos (0 a 9) para a codificação da informação. Este é o caso particular das codificações *EAN/UPC*, *GS1 Data bar*, *GS1-128*, *ITF-14*, *PostNet*, etc;
- **Representação alfa-numérica** - Este tipo de codificação faz uso da representação alfanumérica para a codificação da informação. O *Code 128*, *Code 39* são exemplos de codificação com representação alfanumérica.

Os sistemas de codificação linear são divididos em dois tipos de codificação:

- **Codificação por largura** - *EAN/UPC*, *Data Bar*, *ITF-14*, *GS1-128*;
- **Codificação por altura** - *PostNET*, *Planet*, *OneCode*.

Os códigos de barras do tipo linear codificam a informação apenas num sentido. São muito utilizados para serviços de rastreabilidade e representam a maioria das codificações existentes na tecnologia código de barras. Os sistemas lineares codificam a informação através da variação da largura das barras verticais (*Width modulation*) ou pela variação em altura (*Height modulation*). A maior parte das codificações lineares utiliza a codificação de informação através variação da largura das barras.

A figura 3.2 representa respetivamente a codificação em largura do *ITF-14* e codificação em altura do *PostNET*.

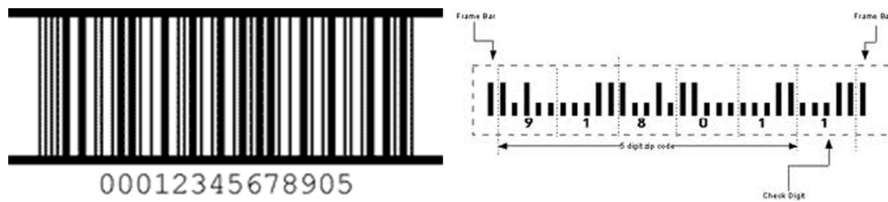


Figura 3.2: Codificação em largura (*ITF-14*) e em altura (*PostNET*).

Os sistemas bidimensionais (2D) apresentam a informação sob a forma de uma matriz. A figura 3.3 ilustra o *PDF417*, uma das codificações bidimensionais mais utilizadas.

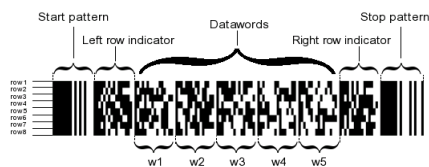


Figura 3.3: Código de barras bidimensional do *PDF417*.

3.1.2 Codificação EAN-13

O EAN-13 (*European Article Number*)¹ é uma codificação do tipo linear numérica adotada na Europa em 1976 pela *International Article Numbering Association*. Esta codificação foi criada para a identificação de produtos nos pontos de venda, tendo como antecessor a codificação UCP (*Universal Product Code*).

O EAN-13 contém quatro campos de informação, definidos por um total de treze dígitos. Os primeiros doze dígitos da codificação EAN-13 dizem respeito à informação do produto. O último dígito é usado para a verificação de erros.

- **Identificação do país** - Os primeiros dois a três dígitos definem o número do registo de identificação do país na organização GS1. Empresas inscritas na GS1 Portugal apresentam a identificação “560” (figura 3.4)²;
- **Identificação da companhia** - A identificação da companhia é definida com 4 a 5 dígitos. O total de dígitos da identificação do país e companhia é um valor fixo de 7 dígitos. Um produto que utilize três dígitos para a identificação do país apenas

¹Atualmente denominado *International Article Number*.

²Países como os Estados Unidos, França e Canadá utilizam apenas dois dígitos para a identificação do país.

pode utilizar os seguintes 4 dígitos para a identificação da companhia. A codificação representada na figura 3.4 apresenta o número “1049” para a identificação da companhia;

- **Identificação do produto** - Os seguintes 5 dígitos são usados para o código do produto. O número “21399” representa a identificação do produto (figura 3.4);
- **Verificação de erros** - O último dígito da codificação EAN-13 é usado para a verificação de erros de leitura (através de *checksum*).



Figura 3.4: Código de barras de um produto português.

Verificação de erros do EAN-13

Dado um determinado código de barras, a norma relativa ao EAN-13 define uma sequência de multiplicação dos primeiros doze dígitos presentes no código de barras através de “1” e “3”. A soma da multiplicação dos doze números multiplicados sequencialmente por “1” e “3” é posteriormente subtraída pelo múltiplo de 10 maior ou igual ao resultado obtido. A figura 3.4 ilustra o código de barras de um produto português com o respetivo cálculo da verificação de erros (equação 3.1).

$$(5 * 1) + (6 * 3) + (0 * 1) + (1 * 3) + (d5 * 1) + \dots = 99 \rightarrow 100 - 99 = 1 \quad (3.1)$$

3.1.3 Codificação GS1-128

A codificação GS1-128 (antigo UCC/EAN-128) é uma codificação linear alfanumérico com codificação por largura. Foi desenvolvida pela organização GS1 para a troca de informação na cadeia de fornecimento. A grande vantagem desta codificação reside na possibilidade de agregação de vários conteúdos de informação através de *Application Identifiers*. A maior parte dos sistemas baseados na tecnologia código de barras apresenta uma estrutura fixa, tornando o sistema pouco dinâmico para a integração de novos serviços de rastreabilidade. Através codificação GS1 é possível incluir vários serviços de rastreabilidade: *Serial Shipping Container Code*, número de série, data de produção, peso, dimensão, volume, etc.

Estrutura da codificação GS1-128

A codificação GS1-128 apresenta uma estrutura semelhante à codificação *Code 128*. Ambos incluem os seguintes campos:

- *Start code*;
- Dados;
- *Checksum*;
- *Stop code*.

No caso da codificação GS1-128, a agregação dos serviços de rastreabilidade é possível através da adição de dois novos campos entre o *Start code* e o campo de dados dados: o *Function Code* (caractere FUNC1) e o *Application Identifier*. Através do caractere “FUNC1”, o sistema de leitura apreende que existe um novo serviço de rastreabilidade a ser lido. O tipo de serviço de rastreabilidade é definido pelo *Application Identifier*, que não é mais do que uma tabela de códigos normalizados para prover diferentes serviços de rastreabilidade. O comprimento dos dados é variável conforme o tipo de serviço. Os dados de um determinado serviço podem ser fixos ou variáveis. Por exemplo, o *Application Identifier* da data de produção apresenta um campo de dados fixo de 6 dígitos: “YYMMDD”. Os dados do número de série por outro lado apresentam um campo de dados variável: entre 1 a 20 caracteres alfanuméricos.

A agregação de um novo serviço de rastreabilidade na codificação GS1-128 implica o uso do *Function Code* e do *Application Identifier* seguido dos dados referentes ao serviço de rastreabilidade.

Atendendo ao exemplo da figura 3.5, na mesma codificação estão contidos quatro serviços de rastreabilidade. Os dígitos definidos entre parêntesis definem o código do *Application Identifier* seguido dos respetivos dados do serviço de rastreabilidade (os quais podem ser fixos ou variáveis conforme o serviço de rastreabilidade).



Figura 3.5: Exemplo da codificação GS1-128

A tabela 3.1 apresenta a descrição de alguns AI (*Application Identifiers*) definidos para a codificação GS1-128. Existem mais de 90 códigos AI normalizados pela organiza-

ção GS1.

AI	Descrição	Dados
00	SSCC	18 dígitos numéricos
01	GTIN	14 dígitos numéricos
02	Nº de contentores	14 dígitos numéricos
10	Batch number	1-20 dígitos numéricos
11	Data de Produção	6 dígitos: YYMMDD
15	Data de venda	6 dígitos: YYMMDD
21	Número de série	1-20 alfanuméricos

Tabela 3.1: Exemplo de alguns AI (*Application Identifiers*)[6].

Este tipo de codificação apenas possibilita um total de 48 caracteres de informação, o que pode ser não ser suficiente para prover os serviços de rastreabilidade necessários na cadeia de fornecimento. Em muitos dos casos, a codificação GS1-128 utiliza mais do que um código de barras como forma de garantir o armazenamento dos dados necessários (figura 3.5). Para além disso, a subsecção seguinte irá abordar com maior detalhe as limitações do código de barras, tendo em especial atenção as limitações de utilização desta tecnologia na indústria³.

3.1.4 Limitações da tecnologia código de barras

A tecnologia de código de barras continua a ser umas das tecnologias de maior utilização na cadeia de fornecimento, desde a produção (através da codificação *GS1 Data matrix*), distribuição (codificação *ITF-14* e *GS1-128*) até aos pontos de venda do produto (codificação *UPC/EAN-13* e *GS1 Data Bar*). Contudo, esta tecnologia apresenta algumas limitações a ter em conta. A cadência da leitura de dados dos sistemas código de barras são relativamente baixas, apenas permitindo a identificação de um objeto de cada vez. Os sistemas baseados na tecnologia de código de barras apresentam pouco armazenamento de memória (cerca de 50 caracteres de informação no caso dos códigos de barras do tipo linear) pelo que não permitem a identificação individual de um item (apenas do lote em que se insere) ou outro tipo de informação relevante (especificações do produto: data de validade, preço, peso, etc⁴).

Os códigos de barras bidimensionais apresentam maior armazenamento de dados mas requerem o uso de leitores mais complexos e dispendiosos.

A limitação da linha de vista é talvez a maior desvantagem dos sistemas baseados nesta tecnologia. O código de barras necessita de estar devidamente alinhado com o leitor, com vista a garantir uma correta identificação do sistema de leitura. Na maior parte dos casos, o posicionamento terá que ser garantido com intervenção humana, encarecendo o processo de identificação automática do sistema, especialmente para serviços de

³É neste contexto que o suporte de identificação baseado na tecnologia RFID surge como uma alternativa para a implementação de sistemas de rastreabilidade na indústria.

⁴Exceptuando-se as codificações *GS1 Data Bar* e *GS1-128* que permitem a adição de dados adicionais, embora que condicionada pelo limitado armazenamento de dados.

rastreabilidade aplicados à indústria, onde o uso desta tecnologia é praticamente inviável (face às vantagens inerentes da tecnologia RFID).

Outra limitação destes sistemas reside na robustez das etiquetas do código de barras no meio industrial. Como foi abordado anteriormente, as etiquetas de código de barras terão que residir na periferia do item, pelo que estão constantemente em contacto com o ambiente. No caso da indústria, que, em geral apresenta um ambiente de elevada agressividade (temperaturas elevadas, humidade, exposição a químicos, poeiras, etc) poderão facilmente danificar a etiqueta, impossibilitando a sua leitura (particular destaque para os danos verticais do código de barras que, poderão impossibilitar a sua leitura[33]).

A modificação da informação presente no produto é possível, mas requer a impressão e recolocação de uma nova etiqueta por cima da etiqueta anterior através de processos adesivos. Escusado será dizer que o tempo de impressão e recolocação afetam negativamente a cadência produtiva e o dinamismo das operações.

No caso do código de barras do tipo linear, não existe encriptação de dados para a segurança dos dados presentes nas etiquetas, podendo estes serem facilmente violados/-modificados.

3.2 RFID

O RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma tecnologia que permite a comunicação e identificação sem contato físico através de sinais de radiofrequência. A tecnologia RFID possui características muito interessantes para a implementação de sistemas de identificação. De acordo com Schmitt, Patrick[39], a adoção e difusão da tecnologia RFID ainda está a dar os seus primeiros passos pelo que é difícil traçar um modelo que permita a análise do impacto económico da tecnologia RFID na indústria. No entanto, a utilização do RFID na indústria tem demonstrado impactos significativos na produtividade: otimização da gestão da produção, substituição de trabalhos manuais por processos mais eficientes e automatizados em conjunto com informações mais precisas e relevantes.

O gráfico representado na figura 3.6 ilustra uma previsão efetuada em 2008 acerca do mercado total da tecnologia RFID (em milhões de USD) desde 2004 até 2010. Segundo Schmitt, Patrick[39], o mercado total RFID apresenta 63% de aplicações relacionadas com a segurança e o controlo de acessos e 29% do mercado RFID em uso em aplicações para a identificação de animais. Apenas 8% das aplicações estão relacionadas com a gestão da cadeia de fornecimento. A baixa utilização da tecnologia RFID na cadeia de fornecimento está relacionada com a dificuldade de integração e complexidade dos sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID e a falta de normalização para a partilha de dados na cadeia de fornecimento⁵.

⁵Daí haver a necessidade de adotar um sistema de rastreabilidade baseado na tecnologia RFID capaz de fornecer de forma rápida e fácil a integração de serviços de rastreabilidade na indústria.

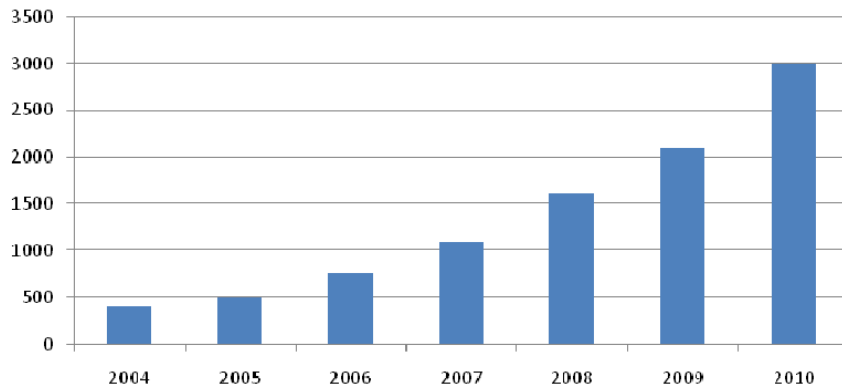


Figura 3.6: Mercado total do RFID em milhões de dólares (USD)[39].

3.2.1 Constituição do sistema RFID

Tal como o código de barras, o RFID apresenta dois tipos de dispositivos: o leitor e a *tag*/etiqueta. O leitor RFID efetua a comunicação com a *tag* presente no seu campo de leitura. O leitor pode identificar a *tag* através de um identificador único (*unique ID*) e, dependendo das características da *tag*, proceder à leitura e escrita da memória de dados da etiqueta.

Tanto o *reader* como a *tag* são sistemas emissores e receptores de informação pelo que são ambos considerados transceivers, apresentando a seguinte constituição:

- Microprocessador;
- Memória de dados;
- Antena;
- Bobine.

O microprocessador tem como função controlar o dispositivo (seja leitor ou *tag*), permitindo efetuar o processamento necessário para o sistema (comunicação entre os dispositivos, encriptação, anti-colisão, etc). A memória de dados contém a informação do sistema e pode estar integrada diretamente no microprocessador. O bloco antena permite a comunicação entre os sistemas, para envio e receção de mensagens. No caso do leitor RFID, o bloco bobine atua como gerador de energia electromagnética para o meio ambiente. A *tag* também apresenta o bloco bobine, mas neste caso tem a função de captação do campo electromagnético para a sua energização (caso particular da *tag* passiva). A secção 3.2.8 aborda os diferentes tipos de energização das *tags* RFID.

A zona de interrogação é definida como a região interna onde é possível efetuar a comunicação entre o leitor e a *tag*. Dentro da zona de interrogação, a *tag* apresenta energia suficiente para a comunicação com o leitor (modo ativo).

O leitor RFID tem como função enviar um pedido para a *tag* através de ondas radiofrequência. Por sua vez, a *tag* tem como função responder aos pedidos efetuados pelo leitor RFID. Existem diferentes tipos de *tags* e equipamentos, sendo que a maior

parte das *tags* contém uma memória interna para alocação de dados, permitindo ao leitor RFID proceder a pedidos de leitura ou escrita da memória de dados da respectiva *tag* RFID. A *tag* RFID, para além da memória de dados, também apresenta um número de identificação único (*unique ID*), que permite a sua identificação de forma singular.

Existem diferentes vertentes da tecnologia RFID. O leitor pode ter apenas uma antena de dados ou múltiplas antenas para comunicação com várias *tags* em simultâneo. Os sistemas RFID apresentam a possibilidade do leitor energizar o campo envolvente, permitindo a ativação da *tag* na sua zona de interrogação (*tag* do tipo passiva). Este tipo de *tags* apresentam menor dimensão, menor custo e maior durabilidade (mais direcionadas para aplicações industriais).

3.2.2 Métodos de funcionamento da *tags* RFID

As *tags* RFID apresentam três métodos de funcionamento distintos:

- Ativas;
- Semi-ativas;
- Passivas.

As *tags* passivas não contêm alimentação integrada no seu sistema. Necessitam que o leitor RFID energize o campo envolvente para a alimentação do microprocessador e memória de dados (caso disponha). Por serem sistemas passivos, não apresentam grande alcance (tipicamente menos de 3 metros, podendo alguns sistemas alcançar até 6 metros[27]). O seu custo é relativamente baixo (na ordem das dezenas de cêntimo). No futuro, a tendência do mercado é reduzir ainda mais o custo de produção das *tags*. A banda de frequência encontra-se tipicamente na banda radio HF (**H**igh **F**requency) e LF (**L**ow **F**requency). Mais tarde veremos a banda de frequências amplamente utilizadas pelos diferentes sistemas de identificação RFID.

As *tags* ativas e semi-passivas contêm alimentação integrada para os seus circuitos eléctricos. A *tag* ativa não necessita diretamente do leitor RFID para enviar dados. Esta acede o meio periodicamente. A *tag* semi-passiva necessita de um pedido por parte do leitor RFID para iniciar a sua transmissão. O alcance de ambas é muito maior que no caso das *tags* passivas. Os sistemas baseados em *tags* ativas/semi-ativas concedem ao sistema de identificação um alcance de 30 metros, podendo chegar até aos 100 metros (dependendo das propriedades do sistema: potência da antena, alimentação do sistema, etc). A banda de frequências das *tags* ativas/semi-passivas encontra-se na banda radio UHF (**U**ltra **H**igh **F**requency). Uma vez que as mesmas têm maior alcance e complexidade, o seu custo é muito superior quando comparadas com as *tags* passivas.

3.2.3 Armazenamento de dados

No que diz respeito ao armazenamento de dados, as *tags* podem ser divididas em três grupos:

- Apenas Leitura (*read only*);
- Leitura/Escrita (*read-write*);

- WORM (*Write Once Read Many*).

Esta é uma característica importante no decurso da seleção de um sistema de identificação baseado na tecnologia RFID. A escolha inapropriada para um determinado sistema pode encarecer o custo final ou não cumprir os objetivos propostos. As *tags* de leitura/escrita podem ser lidas e escritas sem restrições⁶. De entre os três tipos de memória, esta é a que garante maior liberdade ao utilizador embora encareça o custo final da *tag*.

As *tags* RFID *read only* apenas podem ser lidas deixando de haver a possibilidade de escrita na memória. *Tags* do tipo WORM (*Write Once Read Many*), como o próprio nome indica, podem ser escritas uma única vez e lidas quantas vezes o utilizador pretenda.

3.2.4 Características físicas das *tags*

A ideia da identificação por radio-frequência de um determinado item exige a fixação da *tag*. Diferentes aplicações exigem diferentes características físicas da *tag*⁷. Atualmente existe uma grande variedade de *tags* no mercado. Segue abaixo uma lista dos formatos mais comuns:

- Formato disco/moeda;
- Formato chave;
- Formato etiqueta;
- Formato com caixa em vidro;
- Formato ID-1 (cartão de crédito).

Formato disco/moeda

É um tipo de *tag* RFID muito utilizado. O seu formato permite a facilidade de ser inserido no item (especialmente o formato disco por permitir aparafusamento ao objecto em causa). Existe uma grande variedade de dimensões, desde alguns milímetros a centímetros. Os modelos mais comuns apresentam diâmetro externo de 30 mm, com uma espessura de 3,25 mm (figura 3.7). Em termos de frequência de operação existem *tags* para os três tipos de transmissão radio-frequência (LF, HF e UHF). O alcance depende fortemente da dimensão da *tag*. Quanto menor for o seu diâmetro, menor será a bobina, o que terá como consequência uma menor distância de identificação. No entanto, o alcance deste tipo de *tag* costuma ser de alguns centímetros.

⁶De notar que qualquer memória não apresenta ciclos de leitura e escrita infinitos. Para o estudo pretendido, esta característica não é estudada.

⁷Note-se que o formato do leitor RFID não costuma ser muito relevante para o tipo de aplicação em causa. O objetivo do leitor RFID consiste apenas na procura de *tags* que possam estar presentes na sua zona de interrogação, pelo que é algo externo às propriedades físicas do objeto. A literatura costuma mencionar a procura de *tags* como sendo a interrogação (daí o leitor RFID ser comumente denominado de *interrogator*). A zona de interrogação (*interrogation zone*) representa o alcance máximo na qual é possível a *tag* responder ao pedido de procura do leitor RFID.

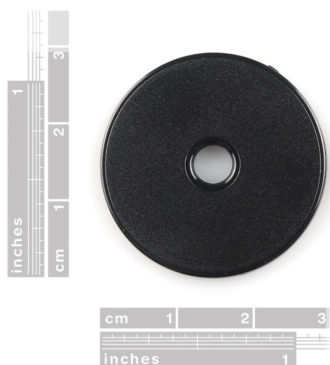


Figura 3.7: *Tag* com formato disco[17].

Formato chave

Este é também um formato muito utilizado uma vez que permite a integração de um sistema RFID numa chave existente. A imagem 3.8 ilustra uma *tag* RFID inserida numa chave de automóvel.



Figura 3.8: *Tag* RFID inserida numa chave de automóvel[20].

Formato etiqueta

Este tipo de formato é utilizado para aplicações que necessitam de *tags* RFID com o mínimo de espessura e bastante flexibilidade. É vulgarmente utilizado em identificação de livros, documentos, bagagens, cartões (com material de cartão), entre outros itens. É uma das *tags* RFID com maior facilidade de inserção num objecto uma vez que usam propriedades adesivas. Como se pode ver pela figura 3.9, a espessura e flexibilidade desta *tag* são impressionantes vantagens deste formato. Esta *tag* pode facilmente ser inserida em itens que já disponham de identificação por código de barras.

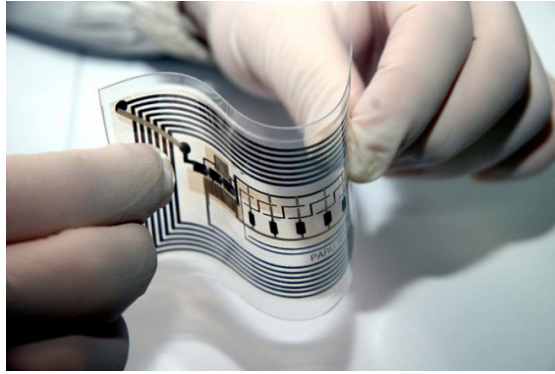


Figura 3.9: *Tag* do tipo etiqueta[4].

Formato com caixa de vidro

Tags com caixas em vidro são geralmente utilizadas para identificação de animais e, para alguns casos, usados na identificação de pessoas. O seu tamanho reduzido permite que este possa ser inserido no interior do animal ou pessoa. As aplicações deste tipo de *tag* não se ficam apenas pela identificação do animal ou pessoa. Existem no mercado *tags* baseadas nesta tecnologia que permitem conter informação pessoal da pessoa em questão (nome, tipo de sangue, contactos), problemas de saúde (alergias por exemplo), até mesmo monitorizar constantemente o estado de saúde do paciente. O histórico de saúde do paciente pode ser facilmente acedido, sem necessidade de medidas evasivas. Alargando ainda mais as potencialidades desta tecnologia, a implementação de um leitor RFID dentro da habitação do paciente pode ser uma solução extremamente vantajosa. A *tag* pode comunicar diretamente com o leitor RFID (dentro da habitação) acerca do estado de saúde do paciente, alertando facilmente para possíveis medicamentos ou até mesmo alertar autoridades no caso de eventuais problemas de saúde do paciente (ataques cardíacos e outros problemas de saúde). A imagem 3.10 ilustra a *tag* de implantação humana[11].

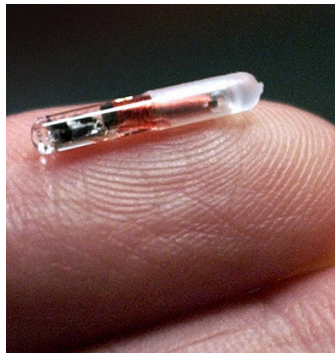


Figura 3.10: *Tag* de implantação humana[11].

Formato ID-1

O formato ID-1 é utilizado para na maior parte dos cartões bancários, cartões de identidade, cartas de condução, passaportes (no caso dos EUA), entre outros. Existem *tags* compatíveis com a norma que define as características físicas deste formato (norma ISO/IEC 7810). Por outras palavras, é possível inserir um sistema RFID num cartão de identificação pessoal ou cartão bancário. O formato ID-1 apresenta 85,6mm de comprimento e 53,98 mm de largura. O cartão de identificação da Universidade de Aveiro (bem como outras universidades) têm incorporado uma *tag* RFID. A figura 3.11 ilustra o cartão de utilização do autor da tese.



Figura 3.11: Cartão de identificação do autor.

3.2.5 Classificação de sistemas RFID

Como foi abordado na secção 3.2.4, existem diferentes formatos físicos das *tags*. Não obstante o facto do formato físico ser uma característica importante, convém não ser descuidada a parte de processamento de informação que a *tag* pode efetuar, visto que este irá definir as limitações do sistema a implementar. Consoante as necessidades do projeto em causa, existirá a necessidade de um determinado tipo de processamento a efetuar na *tag*. A necessidade de memória interna na *tag* poderá ser uma característica necessária ao sistema pelo é necessário o seu estudo e classificação.

De acordo com o nível de processamento interno, as *tags* podem ser divididos em três categorias[27]:

- Sistemas de baixo nível;
- Sistemas de médio nível;
- Sistemas de alto nível.

Sistemas de baixo nível

Os sistemas de baixo nível abrangem todos os sistemas que apenas efetuam processamento booleano aquando da presença de uma *tag* na zona de interrogação do *reader*. Este é o sistema mais trivial da tecnologia RFID. Os sistemas de baixo nível permitem a leitura de uma *tag* dentro da zona de interrogação. Situações com mais do que uma *tag* dentro da zona de interrogação são postas de parte uma vez que a *tag* efetua o *broadcast* da sua identificação. Não havendo um controlo de acesso ao meio (media access

control) para a gestão da transmissão de informação por mais do que uma *tag* na zona de interrogação, irá haver colisão de mensagens, levando a erros de transmissão. O facto de haver erros no envio de transmissão leva a que a *tag* em questão não seja identificada corretamente pelo leitor RFID.

Não obstante a simplicidade do sistema (e suas limitações), têm a grande vantagem de atender a grande parte das aplicações. A identificação da *tag* pelo seu ID, é, na maior parte dos casos, requisito mais do que suficiente para a sua identificação. A desvantagem da comunicação não permitir mais do que uma *tag* na zona de interrogação⁸ pode ser descartada no caso da aplicação não exigir a necessidade de múltiplas identificações.

Pela sua simplicidade, são sistemas financeiramente mais atrativos. O facto de exigir algoritmos de processamento substancialmente inferiores, leva a menores dimensões da *tag* e menor custo face aos outros sistemas RFID. Este tipo de sistemas pode operar nas três gamas de radiofrequência (embora seja comumente utilizado a gama de frequência HF, mais concretamente 8.2 Mhz[27]). Devido a ser um sistema de baixo consumo eléctrico, pode apresentar alcances de transmissão de dados bastante elevados, sendo esta uma característica necessária aos sistemas EAS.

O método tecnológico EAS (*Electronic article surveillance*) por radiofrequência utiliza sistemas de baixo nível para gestão dos produtos nos pontos de venda (POS). O comércio em geral utiliza sistemas EAS para deteção de produtos nas vias de saída que não tenham sido adquiridos.

Sistemas de médio nível

Sistemas de médio nível são mais abrangentes permitindo a utilização da memória de dados (geralmente uma memória EEPROM) presente na *tag*. A *tag* suporta um maior número de funções e pedidos por parte do leitor RFID. O *reader* pode efetuar um pedido de leitura/escrita de um determinado bloco da memória presente na *tag*. O tamanho da memória de dados apresenta valores na ordem dos Kbytes⁹.

Os sistemas de médio nível, geralmente permitem mais do que uma *tag* dentro da zona de interrogação. Para isso, dispõem de algoritmos de anticolisão, garantido que a identificação/seleção de uma determinada *tag* não é interrompida por outra *tag* presente na zona de interrogação. Procedimentos de autenticação e encriptação podem também encontrar-se presentes neste tipo de sistemas.

Sistemas de alto nível

Este é o tipo de sistema apresenta a maior complexidade. Apresentam fortes algoritmos de autenticação e encriptação, permitindo o seu uso em aplicações que exigem sobretudo segurança dos dados. Aplicações de domínio público, tais como operações bancárias, carteira eletrónica são alguns dos sistemas que exigem sistemas de alto nível. A gama de frequências de operação destes sistemas é limitada permitindo apenas

⁸Este é um tipo de comunicação *node to node*. Apenas é permitida a comunicação entre dois dispositivos, não havendo nenhum algoritmo de controlo de acesso ao meio. O protocolo RS-232 apresenta as mesmas similaridades na comunicação.

⁹A capacidade de alocação de dados internamente na *tag* permite caracterizar o objecto em que se insere. Algumas aplicações exigem não só a identificação por *unique ID* como também retirar alguma informação do mesmo aquando da sua identificação.

a utilização a 13,56 Mhz (zona HF). A norma ISO/IEC 14443 define o protocolo de comunicações entre o leitor e a *tag* RFID.

3.2.6 Seleção do um sistema RFID

O mercado atual apresenta várias escolhas no que diz respeito ao uso de tecnologia RFID. De acordo com as necessidades do projeto, torna-se necessário analisar os prós e os contras das soluções disponíveis. Os principais parâmetros de um sistema RFID a ter em conta são:

- Frequência de operação;
- Alcance da zona de interrogação;
- Capacidade de leitura massiva;
- Integração de memória de dados;
- Taxa de transmissão de dados;
- Sensibilidade a objetos externos (metais, líquidos, etc);
- Algoritmos de segurança (criptologia).

A tabela 3.2 apresenta a comparação das principais tecnologias de identificação automática.

	Código de Barras	Smart card	RFID (passivo)	RFID (activo)
Modificação dos dados	Não	Sim	Sim	Sim
Segurança dos dados	Mínima	Alta	Alta	Alta
Quantidade de dados	8 a 50 caracteres (1D); 7.200 (2D)	Até 8 MB	Até 64 KB	Até 8 MB
Custo	Baixo (cêntimos)	Alto (>2 euros)	Médio (≤ 80 cent.)	Muito alto (15 a 150 euros)
Standards	Estáveis e aceites	Proprietário	Pouca aceitação	Proprietário; Evolução de standards abertos
Distância de leitura	Linha de vista (até 1.5m)	Necessidade de contacto físico	Sem contacto ou linha de vista (até 15m)	Sem contacto ou linha de vista (até 100m)
Interferência	Poeiras ou outro tipo de objetos entre o leitor e a etiqueta	Bloqueio do contacto físico	Ambientes com radiofrequência podem afetar a transmissão	Boa imunidade a interferências

Tabela 3.2: Comparação das principais tecnologias AIDC[27].

Frequências de operação - propriedades e limitações

A frequência de operação é uma das propriedades mais importantes de qualquer sistema que envolva a comunicação por radiofrequência. No que diz respeito à tecnologia RFID, ainda não existe consenso universal na utilização da frequência para operação dos sistemas RFID. Até serem adotadas normas relativas à utilização universal de uma frequência de operação, a tecnologia RFID terá dificuldade em expandir o seu mercado de forma global (figura 3.12).

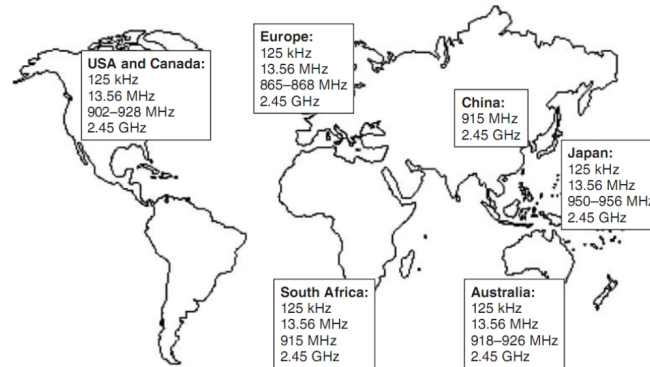


Figura 3.12: Frequências de operação em diferentes regiões do universo[44].

A frequência HF=13.56 MHz é internacionalmente aceita. Contudo, apresenta alcances de transmissão baixos, o que impossibilita a sua utilização ao nível industrial. A frequência UHF apresenta problemas de normalização internacional. Futuramente terá que existir uma norma que defina a utilização de uma frequência UHF ao nível global para a compatibilidade de leitura das *tags* em qualquer lugar do globo terrestre. As frequências UHF apresentam também a desvantagem de serem influenciadas por metais e líquidos, uma limitação a ter em conta na aplicação da tecnologia RFID na indústria. A tabela 3.12 apresenta algumas das propriedades e limitações para as diferentes frequências disponíveis.

Frequência de operação	Propriedades e Limitações	Aplicações	Extensão
LF (9-135 KHz)	Leitura até 1.5m; Não é influenciado por metal	Fecho centralizado dos automóveis	Universal
HF (13.56 MHz)	Leitura até 1.5m; Pode funcionar com objetos metálicos	<i>Smart cards</i> ; Controlo de acessos; identificação pessoal; venda de bilhetes	Universal
UHF (860-960 MHz)	Leituras até 15 metros; Rapidez de leitura; Influenciado por metais e líquidos	Paletização; bagagem de aeroportos	Universal (para diferentes gamas RF)
Micro-ondas (2.45 GHz)	Leituras até 100 metros; uso em sistemas WLAN e WiFi	Tracking de contentores; Portagens	Universal

Tabela 3.3: Propriedades e aplicações para diferentes bandas de radiofrequência[44].

3.2.7 Protocolos de transmissão

A tecnologia RFID ainda é um mercado em evolução. Ainda existe falta de normalização o que leva a que os sistemas RFID não sigam, na maior parte dos casos, uma implementação generalista, tornando difícil a partilha de dados na cadeia de fornecimento. A possibilidade de diferentes aproximações que a tecnologia permite é um dos fatores causadores do pouco amadurecimento ao nível da normalização. O facto de cada país apresentar diferentes legislações é outro dos factores que contribui para a falta de normalização. A frequência de operação, especialmente a UHF (*Ultra High Frequency*), não apresenta uma implementação generalista a nível global. Como se pode ver na figura 3.12, cada continente apresenta a sua frequência de operação. A Europa apresenta frequências UHF entre 865 e 868 MHz. Os Estados Unidos da América e Canadá utilizam frequências de operação entre 902 e 928 MHz. A África do Sul, Japão, China e Austrália apresentam outro tipo de frequências.

A tabela 3.4 apresenta as normas de maior relevo desta tecnologia. A normalização da tecnologia RFID encontra-se definida pela ISO/IEC e EPCglobal. A normalização da frequência relativa à codificação EPC encontra-se normalizada pela ISO/IEC através da norma ISO/IEC 18000-6c. No entanto, as normas ISO em questão apenas definem o protocolo de interfaces (*air interface*) entre o leitor e *tag*. O conteúdo da informação, estrutura de mensagens, implementações físicas não são abordadas pela normalização ISO pelo que não existe consenso no que toca à partilha de informação entre sistemas. A organização GS1 define a codificação EPC em função das características definidas pela ISO 18000-6. Terá que haver um consenso universal acerca da frequência a ser utilizada para os sistemas de rastreabilidade, algo que será de difícil resolução (relembrar a figura 3.12). Para além disso, a solução passa por definir a estrutura e conteúdo de informação a ser adotado para os sistemas de rastreabilidade. O protocolo EPC poderá ser a solução para o problema. No entanto apresenta a desvantagem de ser pouco flexível. Apesar de definir vários esquemas de codificação. A codificação EPC apenas define um número de série. O autor defende que a solução para este problema passa pela simplificação do sistema através da adoção de uma codificação similar do código de barras GS1-128, anteriormente estudada e o uso de uma etiqueta RFID do tipo *read-write* para prover diferentes serviços de rastreabilidade necessários aos setores da cadeia de fornecimento.

ISO	Designação	Frequência
ISO 14443 A/B	Cartões de proximidade (<i>Proximity cards</i>) - leituras até 10 cm, inicialização.	13.56 MHz
ISO 15693	Cartões de vizinhança (<i>Vicinity cards</i>) - leituras até 1.5 m, inicialização.	13.56 MHz
ISO 18000-1	Arquitetura e definição de parâmetros.	
ISO 18000-2	Leituras até alguns centímetros.	<135 KHz
ISO 18000-3	Leituras até 1.5 m (substituição da ISO 15693).	
ISO 18000-4	Leituras superiores a 100 m.	2.45 GHz
ISO 18000-6	Leituras até 4 m, incluindo EPC Gen 2.	860-960 MHz
ISO 18000-7	Leituras até 100 m.	433 MHz

Tabela 3.4: Principais *standards* RFID[44].

3.2.8 Comunicação entre o *Reader* e a *Tag*

Os sistemas RFID apresentam três métodos de comunicação entre o leitor e *tag*:

- Acoplamento indutivo;
- Acoplamento electromagnético (*backscatter*);
- Acoplamento capacitivo.

Em termos de alcance de transmissão, os sistemas RFID são classificados em três categorias [32]:

- Sistemas de acoplamento fechado (*close coupling systems*);
- Sistemas de acoplamento remoto (*remote coupling systems*);
- Sistemas de acoplamento de grande alcance (*long range systems*).

A tabela 3.5 apresenta algumas propriedades que definem os três sistemas de acoplamento da tecnologia RFID.

Sistema	Fechado	Remoto	Longo alcance
Alcance	<1 centímetro	<1 metro	>1 metro
Frequência	30 MHz (DC)	135 KHz a 13,56 MHz	860-930 MHz/2.45 GHz
Acoplamento	Indutivo/Capacitivo	Indutivo	<i>Backscatter</i>

Tabela 3.5: Comparação dos sistemas de acoplamento[32].

Acoplamento indutivo

O tipo de acoplamento utilizado por um determinado sistema RFID influencia o alcance de transmissão e frequência de operação. O princípio de funcionamento do acoplamento indutivo é similar ao processo de transferência de energia de um transformador. O leitor e a *tag* RFID apresentam enrolamentos indutivos. Quando a *tag* se aproxima do campo magnético gerado pelo leitor RFID, o fluxo magnético cria uma tensão na bobina da *tag* (figura 3.13). O princípio de funcionamento é baseado na lei de Faraday, que demonstra a proporcionalidade entre a força electromotriz induzida num condutor e o fluxo magnético atravessado na bobina por unidade de tempo (equação 3.2).

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (3.2)$$

A tensão gerada é posteriormente retificada para a alimentação da *tag*. A comunicação da *tag* para o leitor é efetuada através da modulação da carga da bobina. O leitor RFID por sua vez consegue identificar as variações ocorridas pela variação de carga da *tag*, recebendo assim a informação[16]. O acoplamento indutivo é utilizado em sistemas RFID que apresentam *tags* passivas que necessitam de alimentação externa por parte do leitor RFID. O alcance de transmissão dos sistemas de acoplamento indutivo é limitado a aproximadamente 1 metro de distância e a sua frequência de operação mais utilizada situa-se nos 13.56 MHz. O armazenamento dos dados deste tipo de sistemas é relativamente baixo, não excedendo as dezenas de Kbytes.

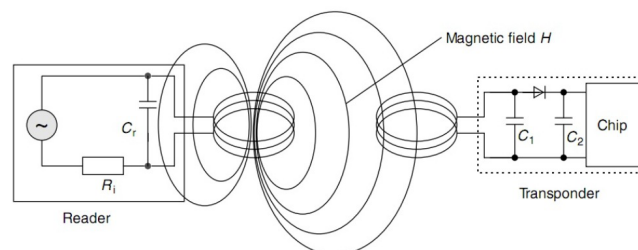


Figura 3.13: Acoplamento indutivo[27].

Acoplamento electromagnético (*backscatter*)

O acoplamento electromagnético nos sistemas RFID é similar ao funcionamento do radar. O leitor envia ondas electromagnéticas que são posteriormente absorvidas pela *tag*. A *tag* pode ser do tipo ativa ou semi-ativa, podendo ser em parte alimentada por este tipo de acoplamento[16]. O envio de dados da *tag* para o leitor é efetuado através da reflexão das ondas transmitidas pelo leitor. As propriedades do sinal refletido variam com as propriedades da antena da *tag*. As propriedades da antena variam através da adição ou subtração de resistências de carga em paralelo com a antena, modulando a onda em amplitude.

Este tipo de acoplamento é utilizado para transmissões a longas distâncias e frequências de operação elevadas (na ordem das centenas de MHz), tal como apresentado na tabela 3.5. A capacidade de alocação de dados é consideravelmente maior para este tipo de sistemas (alguns Mbytes).

3.2.9 EPC

O EPC é o acrónimo de *Electronic Product Code* (código eletrónico do produto) usado pelo sistema EPCglobal. O EPC constitui um novo meio de identificação de produtos através da tecnologia RFID. O EPC visa futuramente substituir a simbologia UPC (*Universal Product Code*) usada na tecnologia de código de barras no que diz respeito à identificação de itens na cadeia de fornecimento. O UPC/EAN ainda apresenta uma forte utilização e aceitação pelo facto de possuir protocolos estáveis. Contudo, como foi dito anteriormente, a tecnologia de código de barras apresenta pouca praticabilidade ao nível da cadeia de fornecimento pela fraca cadência de informação, necessidade de intervenção humana, entre outras limitações anteriormente abordadas. O EPC apresenta-se no mercado como uma alternativa face às limitações do UPC/EAN. Com a evolução da tecnologia e os sistemas cada vez mais informatizados, a tecnologia RFID, juntamente com o EPC aparenta ser uma solução atrativa no que diz respeito à identificação e rastreabilidade dos objetos durante o seu ciclo de vida.

Diferenças entre UPC e EPC

A primeira diferença encontra-se na tecnologia de suporte utilizada. O UPC é relativo à tecnologia de código de barras e o EPC relativo à tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). Em termos de estrutura de dados, o UPC é bastante mais limitado. As etiquetas código de barras apresentam pouca memória de dados (cerca de 30 caracteres para os sistemas lineares). A estruturação do UPC é bastante similar à estudada na secção 3.1. O número UPC é definido por doze dígitos. O primeiro dígito refere-se ao sistema de numeração. Os seguintes cinco dígitos definem a identificação do fabricante. A identificação do produto é definida nos cinco dígitos que sucedem a identificação do fabricante. O último dígito serve como controlo da verificação de possíveis de erros de leitura do código de barras (figura 3.14).



Figura 3.14: Código UPC (*Universal Product Code*)[33].

Apesar do UPC apresentar uma estrutura relativamente simplista, permite a identificação até 100.000 fabricantes e 100.000 tipos de produtos. Contudo, O UPC não suporta a identificação individual de um item. A identificação do item é efetuado segundo o número do lote.

O EPC apresenta uma estrutura mais organizada que o UPC, permitindo assim a identificação individual do item. O EPC define quatro campos distintos no que diz respeito à estruturação dos dados[33]:

- **Header** (0-7 bits);

- **EPC Manager number** (8-35 bits);
- **Object class** (36-59 bits);
- **Serial number** (60-95 bits).

O primeiro campo (*header*) define o tipo de estrutura que o número EPC apresenta. O segundo campo define o número EPC do fabricante. O número do objecto é definido no terceiro campo da estrutura de dados EPC. Este número representa o lote de objetos. Não define ainda a identificação do item mas sim a família a que está inserido. O último campo da estrutura representa o número de série do objeto em questão. É com este número que é possível efetuar a identificação pontual do objecto. A figura 3.15 ilustra a estrutura definida pelo EPC.

01.0000A89.00016F.000169DC0			
Header	EPC Manager	Object Class	Serial Number
0-7 bits	8-35 bits	36-59 bits	60-95 bits

Figura 3.15: Código EPC (*Electronic Product Code*)[33].

3.2.10 Limitações da tecnologia RFID

A tecnologia RFID apresenta limitações/desafios que terá que superar de forma a atingir a aceitação e adoção massiva desta tecnologia. O maior desafio desta tecnologia reside na implementação de legislação. Atualmente ainda não existem implementações generalistas para esta tecnologia. As frequências de operação diferem em diferentes regiões do globo o que torna a sua interligação muito difícil e incompatibilidade de equipamentos. O custo da tecnologia é também um fator ponderante na sua escolha. Os leitores industriais facilmente atingem os milhares de dólares.

A segurança e privacidade da tecnologia podem, em determinados casos, privar a sua utilização. Esta tecnologia sofre de interferência electromagnética o que pode ser uma má opção para aplicações em ambientes industriais. Para algumas frequências de operação, nomeadamente a UHF, existe interferência com objetos metálicos e líquidos.

- **Necessidade de normalização** - Terá que haver um esforço por partes dos governos nacionais com vista a definir a gama do espectro electromagnético apta para o funcionamento global dos sistemas RFID.
- **Diminuição de custos dos equipamentos** - Os leitores e as *tags* RFID necessitam de apresentar custos mais competitivos para a aceitação em massa da tecnologia. O desenvolvimento de novos processos de produção estão a contribuir para o decaimento do preço da tecnologia. No entanto, os preços atuais não permitem a identificação de objetos de baixo valor monetário devido ao preço da *tag*, o que limita fortemente a sua utilização. O futuro da tecnologia passa pela redução do custo nominal das *tags*.
- **Imunidade à interferência electromagnética** - Os sistemas RFID sofrem de problemas de interferência pelo facto de não ter suporte para uma banda de frequência dedicada. Muitos dos sistemas RFID partilham a mesma banda de frequências

com outros equipamentos (*routers*, telemóveis, etc)[38]. A identificação via RFID está dependente do tipo de objeto na qual a *tag* se encontra inserida. Objetos com conteúdo metálico ou líquido absorvem a energia de radiofrequência emitida pelo leitor, o que traduz num menor alcance de transmissão e, para alguns casos a não identificação do produto.

- **Alocação de informação e acesso** - A identificação ao nível individual de cada objecto colmatará numa enorme quantidade de alocação de informação. Muito provavelmente as bases de dados terão apresentar uma arquitetura distribuída para guardar toda a informação necessária. A fidelidade dos dados é outro dos desafios para a identificação individual de itens ao nível global.
- **Integração dos sistemas RFID** - A integração de sistemas RFID em sistemas existentes é um dos maiores desafios devido à dificuldade de integração, o tempo e o custo da implementação. A integração de um sistema RFID num sistema IT (*Information Technology*) pré-existente na empresa pode ser um impedimento à sua utilização.

In addition to the direct deployment costs of RFID technology, there will be a big cost associated with IT systems integration...traditional IT systems are not designed to deal with real-time generation of item-level information, and adding this capability will be costly.[38]

A tecnologia deverá caminhar no sentido de tornar menos penosa a tarefa de integração de sistemas IT com vista a potenciar a sua utilização em larga escala.

- **Reciclagem das tags e saúde humana** - A reciclagem das *tags* é uma limitação a ter em conta. No caso da *tag* estar integrada no próprio objecto a ser identificado, poderá não ser possível a sua reciclagem e reutilização. A não reutilização do lixo eletrónico das *tags* constituirá num sério risco para o meio ambiente e saúde humana. O uso global desta tecnologia irá expor os humanos a um elevado contacto com ondas de radiofrequência. Atualmente não existem indicações sob potenciais efeitos da exposição das ondas radio nos seres humanos mas será necessário um estudo ponderado de potenciais efeitos para a utilização global da tecnologia[38].
- **Atividade criminal** - A proliferação da tecnologia RFID fará com que seja um alvo convidativo para atividades criminais (invasão de privacidade, alteração de dados da *tag*, ganho comercial, etc). Este é outro dos desafios a ser superado dado que o correto funcionamento do sistema dependerá fortemente da robustez do mesmo no que toca a intrusões maliciosas.

Não obstante às adversidades que o RFID apresenta, apesar desta não ser uma tecnologia recente, ainda se encontra em evolução. A evolução tecnológica permitirá ao RFID progredir para uma maior aceitação e procura industrial.

3.2.11 Tecnologia NFC

A tecnologia NFC (*Near Field Communication*) baseia-se na tecnologia RFID e tem como finalidade revolucionar as formas de pagamento que até então são garantidas pela

banda magnética ou pela tecnologia *smart card*. A Visa e a Mastercard estão a apostar fortemente neste novo conceito de pagamento através das *tags* passivas HF com frequência de 13.56 MHz.

A multinacional Google dispõe de aplicações como o *Google Wallet* que permite conter informação relativa aos vários cartões de pagamento do utilizador e realizar pagamentos através de um *smartphone* compatível com esta tecnologia (figura 3.16).



Figura 3.16: Ilustração de um pagamento através da tecnologia NFC[19].

A grande vantagem desta tecnologia reside na sua facilidade de pagamentos sem contacto físico. O utilizador, pode efetuar o pagamento através do seu *smartphone*, de modo rápido e sem contacto físico entre os dispositivos. A necessidade do utilizador andar com vários cartões de pagamento deixa de ser necessário com este tipo de sistema. A cada dia começam a revelar-se novos *smartphones* incorporados com esta tecnologia, pelo que esta nova forma de pagamento é promissora e constituiu um novo passo para a inovação tecnológica. A Google afirma que só nos Estados Unidos da América já existem cerca de 140.000 locais de pagamento via *Google Wallet*[5].

You can pay in-store with the Google Wallet mobile app, which is compatible with the Nexus S 4G by Google, available on Sprint®. You can tap and pay using Google Wallet anywhere MasterCard® PayPass is accepted. Currently, MasterCard PayPass is available at over 140,000 merchants across the United States.

Os jogos Olímpicos 2012 Londres revelaram-se uma ótima oportunidade para a Visa incorporar a infraestrutura necessária para a realização de pagamentos sem fios através de telemóveis e cartões de crédito.

To support the influx of visitors and £750 million in forecasted additional consumer spending, Visa partnered with merchants to ensure more than 140,000 retail locations throughout the United Kingdom accept Visa payWave-enabled cards and phones, including 5,000 London taxis and 3,000 point-of-sale locations at Olympic venues.[19]

Não obstante o facto da tecnologia NFC permitir esta nova forma de pagamento virtual de forma rápida e flexível, também permite a comunicação entre dispositivos móveis. Atualmente os *smartphones* dispõem da tecnologia *Bluetooth*. O NFC pode ser uma alternativa a esta tecnologia. As transferências de dados e alcance são bastante

inferiores ao que o *Bluetooth* apresenta atualmente. Contudo, não deixa de ser uma comunicação entre dois dispositivos fácil de ser estabelecida, com boa segurança de dados uma vez que apresenta encriptação e um menor alcance de transmissão.

Utilização da tecnologia NFC na industria

Existem algumas aplicações no uso da tecnologia NFC a nível industrial. O custo dos leitores RFID ainda apresentam valores elevados (podendo facilmente chegar aos 2000 euros). O *smartphone* de um encarregado da produção, ao ter incorporado a tecnologia NFC poderá substituir algumas operações de um determinado leitor industrial. Operações como manutenção e monitorização podem ser efetuadas diretamente através do *smartphone*.

3.3 Smart Card

A tecnologia *smart card* (cartão inteligente) é uma tecnologia pertencente ao grupo de tecnologias AICD. É uma tecnologia com utilização na identificação pessoal, bancária e comunicações móveis através de um microprocessador e memória incorporados no interior do cartão. O ID-1 é o formato mais comum desta tecnologia, definido pela norma ISO/IEC 7810[34]. A figura 3.17 ilustra a tecnologia em questão.



Figura 3.17: Tecnologia *smart card*.

Segundo Finkenzeller, Klaus[27], os primeiros cartões dotados com tecnologia *smart card* apareceram no mercado em 1984, na forma de cartões de pré-pagamento.

No que diz respeito ao funcionamento, o cartão *smart card* necessita de ser colocado num leitor de cartões destinado para o efeito. O leitor de cartões *smart card* fornece a alimentação e *clock* necessários à comunicação do microprocessador e memória incorporados.

A memória pode ser protegida contra leituras e escritas indesejadas, razão pela qual é utilizado em serviços que exigem segurança e fiabilidade dos dados (nomeadamente identificação bancária, identificação pessoal/governamental, etc). Esta tecnologia aparenta substituir as operações efetuadas pela banda magnética, sobretudo para operações que exigem proteção de dados.

Face à tecnologia RFID (que também pode apresentar memória de dados) tem a desvantagem de ser um sistema pouco flexível, visto ter a necessidade de contacto físico para a comunicação entre equipamentos.

Outra das limitações deste sistema reside no facto dos *pads* de leitura do *smart card* apresentarem pouca proteção contra agressões ambientais e partículas externas, o que leva a uma deterioração mais acentuada e a diminuição da durabilidade do sistema. A esta limitação acresce o facto das condições de operação. A fraca proteção contra agressões ambientais e baixa flexibilidade do sistema traduz-se numa utilização para aplicações mais restritas.

3.3.1 Normalização

A ISO/IEC 7816 abrange um conjunto de quinze normas relativas a cartões de identificação com circuitos integrados dos quais se destacam as mais relevantes[35]:

- ISO/IEC 7816-1 - Características físicas;
- ISO/IEC 7816-2 - Dimensões e localização dos contatos;
- ISO/IEC 7816-3 - Características eléctricas;
- ISO/IEC 7816-4 - Organização, segurança e formato dos comandos;
- ISO/IEC 7816-15 - Operações de criptografia.

3.4 Processos biométricos

A utilização de processos biométricos permite a identificação pessoal de forma individual e automatizada, com recurso a determinadas características físicas presentes no ser vivo:

- Identificação por posicionamento das veias;
- Identificação da retina;
- Identificação por impressão digital;
- Reconhecimento facial;
- Identificação da voz (*voice match*).

A maior parte dos processos biométricos apresenta uma elevada fiabilidade e rapidez de identificação. A identificação por posicionamento das veias, identificação por impressão digital e identificação da retina têm ainda a vantagem de apenas funcionar corretamente no caso do individuo encontrar-se vivo, garantindo maior segurança ao sistema.

Capítulo 4

Protocolos

4.1 Análise do protocolo ISO/IEC 14443

O standard ISO/IEC 14443 *Identification Cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards* é uma norma internacional que abrange um conjunto de procedimentos relativos ao uso da tecnologia RFID através de cartões de identificação. Os cartões de identificação contêm circuitos integrados no interior do cartão e são comumente denominados de cartões de proximidade (*proximity cards*).

A norma encontra-se dividida em quatro partes das quais abordam:

- Parte 1: Características Físicas;
- Parte 2: Potência da onda de radiofrequência e interface do sinal;
- Parte 3: Inicialização e Anti-colisão;
- Parte 4: Protocolos de transmissão.

4.1.1 Características físicas

A ISO/IEC 7810 especifica o formato físico dos cartões de identificação, sendo o formato ID-1 o mais popular. Os protocolos variam consoante a distância de operação. Neste caso, a ISO/IEC 14443 retrata apenas os cartões de proximidade (*proximity cards*). A distância de operação para cartões de proximidade é cerca de 10/12 cm. Existem três protocolos para os cartões de identificação sem contacto eléctrico:

- ISO/IEC 10536 - *Close coupled cards*;
- ISO/IEC 14443 - *Proximity cards*;
- ISO/IEC 15693 - *Vicinity cards*.

Os cartões do tipo *Close coupled cards* utilizam de distâncias de operação muito curtas. Os cartões do tipo *Vicinity cards* são os que apresentam grandes distâncias de operação.

A parte 1 da norma ISO/IEC 14443 refere que o dispositivo de acoplamento de proximidade (PCD)¹ usa acoplamento indutivo não só para fornecer a alimentação necessária ao funcionamento da *tag*, como também para efetuar o controlo da transmissão de dados entre os dois dispositivos.

A norma apresenta ainda considerações relativas a características adicionais, tais como²:

- Temperatura de funcionamento (0 a 50°C para bom funcionamento);
- Testes dinâmicos (dobragem e torção);
- Radiação (luz UV e raios X);
- Alternância de campos eléctricos e magnéticos e eletricidade estática.

4.1.2 Potência da onda de radiofrequência e interface do sinal

A parte 2 da norma aborda o dialogo inicial entre os dois dispositivos RFID. O dialogo entre ambos começa com a ativação da *tag* (PICC - *Proximity card*) por parte do leitor (PCD - *Proximity coupling device*). A ativação é feita através de um comando enviado através do campo RF.

A *tag* neste momento encontra-se ativa e pronta a receber comandos vindos do leitor. Segue-se a transmissão de comandos enviados para a *tag* que posteriormente serão processados e retransmitidos para o leitor:

1. Ativação da *tag*/PICC através do leitor/PCD;
2. *Tag* pronta a receber comandos vindos do leitor/PCD;
3. Transmissão do comando (leitor/PCD);
4. Transmissão da resposta do comando (*tag*/PICC).

De acordo com a norma, a frequência de operação corresponde a $13.56\text{MHz} \pm 7\text{kHz}$. O campo RF deverá ser produzido pelo leitor de forma a efetuar o acoplamento entre os dois dispositivos e a modulação da comunicação. Para o correto funcionamento, a produção do campo RF não deverá apresentar valores menores que $H_{min} = 1.5\text{A/m}(rms)$ e maiores que $H_{max} = 7.5\text{A/m}(rms)$.

O norma define dois tipos de comunicação:

- Tipo A;
- Tipo B.

¹Leia-se leitor RFID. A norma utiliza terminologias diferentes das utilizadas no estudo em causa. A terminologia do estudo em causa continuará inalterável. A norma menciona a *tag* com a definição genérica “PICC-*Proximity card*” e “PCD-*Proximity coupling device*” para o caso do leitor.

²O estudo apenas aborda os aspectos relativos às especificações físicas abordadas na norma. O uso da norma é indispensável para um estudo mais aprofundado.

O leitor/PCD inicialmente alterna o seu método de modulação até ser detetado uma *tag*/PICC do tipo A ou B. Assim que seja detectado o tipo de interface da *tag*, o leitor passa a comunicar apenas com o método de modulação definido pela interface em questão até que a comunicação com os dispositivos finde.

A figura 4.1 ilustra os métodos de modulação dependo do tipo de interface e sentido de comunicação.

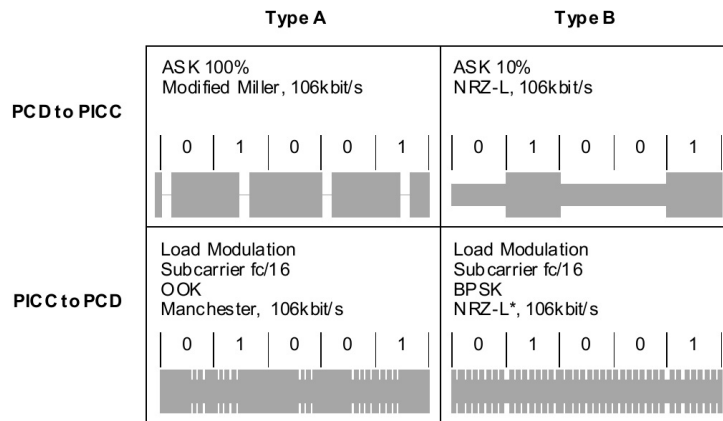


Figura 4.1: Métodos de modulação definidos pela ISO/IEC 14443[23].

Comunicação com a interface A - PCD para PICC

A taxa de transferência da comunicação do tipo A corresponde a:

$$\approx 106kbit/s = \left(\frac{f_{osc} = 13.56MHz}{128} \right) \quad (4.1)$$

A modulação utilizada para a transmissão consiste no princípio ASK100% - *Amplitude shift keying*. O ASK é uma das técnicas de modulação de onda discreta que se baseia na alteração da amplitude da onda portadora em função da entrada da onda modulante.

No que diz respeito à representação binária e codificação, a norma define três sequências distintas, as quais se encontram representadas na tabela 4.1.

Sequência X	Deve ocorrer uma pausa após uma espera de $(64/f_{osc})$
Sequência Y	Não deve ocorrer modulação durante a duração do bit $(128/f_{osc})$
Sequência Z	Pausa no início do bit

Tabela 4.1: Sequências do esquema de codificação do leitor para a *tag*.

As sequências acima representadas deverão ser utilizadas de acordo com o tipo de função a efetuar. A tabela 4.2 representa as funções e as suas respectivas sequências³.

³A norma define duas exceções relevantes no caso do “0” lógico. Para o caso de haver dois ou mais bits contínuos com o valor lógico “0”, a sequência Y do segundo “0” lógico deve ser alterada para a sequência Z. No caso de um ou mais “0” lógicos sucederem ao início da trama, deve ser utilizado a sequência Z (ao invés da sequência Y).

“1” Lógico	Sequência X
“0” Lógico	Sequência Y
Início da comunicação	Sequência Z
Fim da comunicação	“0” Lógico seguido de sequência Y
Ausência de informação	Pelo menos duas sequências Y

Tabela 4.2: Representação binária.

As sequências X e Z, abordam o modo pausa. A norma especifica a utilização do mesmo através da figura 4.2. A *tag* deverá detetar o fim da pausa após o campo efetuar uma mudança de amplitude de 5% da amplitude inicial para uma amplitude de 60% da amplitude inicial. As figuras 4.2 e 4.3 ilustram o modo de operação da pausa e deteção do fim de pausa por parte da *tag*/PICC.

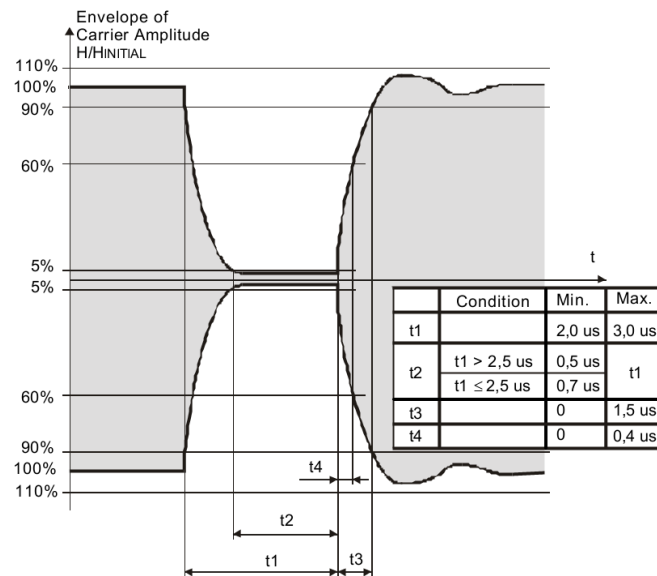


Figura 4.2: Modo pausa definido pela norma ISO/IEC 14443[23].

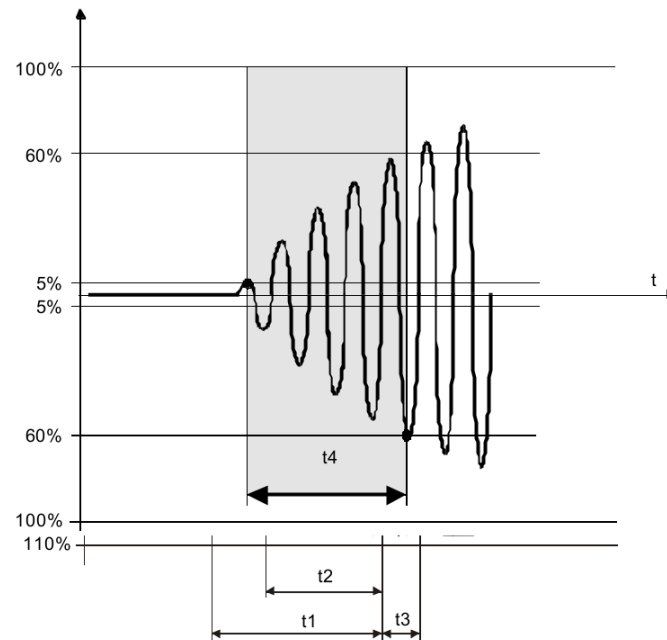


Figura 4.3: Detecção do modo pausa por parte do PICC[23].

Comunicação com a interface A - PICC para PCD

A taxa de transferência de dados utilizada situa-se nos 106 kbit/s, o que corresponde a $\frac{f_{13.56MHz}}{128}$. A comunicação entre a *tag*/PICC e o leitor/PCD é efetuada através de acoplamento indutivo. A *tag*/PICC gera uma onda *subcarrier* através da onda transportadora efetuada pelo leitor/PCD⁴. A frequência da onda *subcarrier* deverá apresentar o valor de:

$$\frac{f_{carrier}}{16} = \frac{13.56MHz}{16} \approx 847kHz^5. \quad (4.2)$$

A onda *subcarrier* é modulada usando chaveamento (*switching*) on/off. Este tipo de modulação define a codificação da representação binária. A codificação da representação binária tem um aspecto similar ao abordado anteriormente. Existem três sequências: D, E e F as quais definem a codificação do sistema de transmissão do PICC para o PCD. A tabela 4.3 ilustra a representação binária e codificação.

Comunicação com a interface B - PCD para PICC

A transferência de dados mantém o valor de $\frac{f_{13.56MHz}}{128} \approx 106kbit/s$. A comunicação entre os dispositivos é efetuada com o ASK, tal como acontece no tipo A. No entanto, a amplitude da modulação utilizada situa-se nos 10% (ao contrário dos 100% utilizados no tipo A). A norma define os valores mínimo e máximo de modulação, situados entre 8% e 14% respetivamente.

⁴Testes da modulação de onda por parte do PICC podem ser consultados na norma ISO/IEC 10373.

⁵A norma define que a duração de um bit como 8 períodos da onda *subcarrier* para os períodos de inicialização e anti-colisão.

Sequência D	Onda transportadora modulada com a <i>subcarrier</i> para os primeiros 50% de duração do bit
Sequência E	Onda transportadora modulada com a <i>subcarrier</i> para os últimos 50% de duração do bit
Sequência F	Onda transportadora não é modulada com a <i>subcarrier</i> por um bit de duração
“0” Lógico	Sequência D
“1” Lógico	Sequência E
Início da comunicação	Sequência D
Fim da comunicação	Sequência F
Ausência de informação	Sem onda <i>subcarrier</i>

Tabela 4.3: Representação binária e codificação com o tipo A - PICC para PCD.

A codificação binária é efetuada através do NRZ-L (*Non-return-to-zero Level*). A codificação NRZ não possui posição neutra. Ao contrário da codificação RZ que utiliza a posição neutra, esta usa tensões positivas e negativas para efetuar a codificação binária. A tabela 4.4 ilustra a representação binária do sistema de comunicação PCD para PICC com o tipo B.

“1” Lógico	Onda transportadora com alta amplitude
“0” Lógico	Onda transportadora com baixa amplitude

Tabela 4.4: Representação binária com o tipo B - PCD para PICC.

Comunicação com a interface B - PICC para PCD

A taxa de transferência mantém-se a mesma ($\approx 106\text{ kbit/s}$). A modulação do tipo B baseia-se no mesmo princípio que a mencionada na comunicação da *tag* para o leitor com o tipo A. A comunicação é efetuada através de acoplamento indutivo. O campo energético criado pelo leitor é absorvido pela *tag*. Através de uma carga presente na constituição do PICC, é gerada uma onda sub-transportadora (denominada *subcarrier*) com frequência f_s . A norma define a frequência da onda *subcarrier* com o valor $\frac{f = 13.56\text{ Mhz}}{16} \approx 847\text{ kHz}$ ⁶.

A BPSK - *Binary Phase Shift Keying* é a modulação utilizada para esta comunicação. Consiste na alteração das propriedades da fase da onda portadora, em função de sinal discreto de entrada (sinal modulante). O faseamento é normalmente efetuado entre 0° e 180°. A modulação BPSK tem boa imunidade ao ruído, porém, tem a desvantagem de

⁶A norma define que a duração de um bit como 8 períodos da onda *subcarrier* para os períodos de inicialização e anti-colisão. A geração da onda *subcarrier* é efetuado apenas quando existe transmissão de informação.

não possuir boa largura de banda. A figura 4.4 ilustra uma mudança de fase efetuada na transição da onda *subcarrier*.

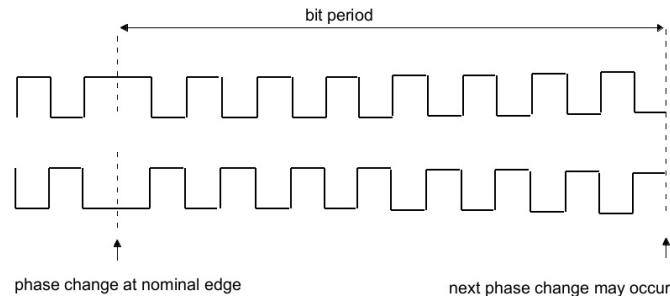


Figura 4.4: Modulação BPSK[23].

O NRZ é também utilizado no que diz respeito à codificação binária da transmissão do PICC para o PCD. A tabela 4.5 ilustra a representação binária do sistema de comunicação PICC para PCD com o tipo B.

"1" Lógico	Fase da <i>subcarrier</i> com 0°
"0" Lógico	Fase da <i>subcarrier</i> com 180°

Tabela 4.5: Representação binária com o tipo B - PICC para PCD.

Nesta parte da norma, é abordado a zona mínima de acoplamento da *tag*/PICC. A forma ou localização da antena é irrelevante para a norma em questão, desde que a zona representada na figura 4.5 seja devidamente acoplada.

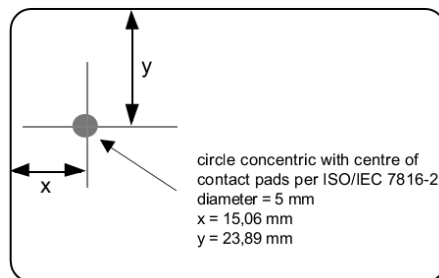


Figura 4.5: Zona de acoplamento[23].

4.1.3 Inicialização e Anti-colisão

A parte 3 da norma começa por definir o pacote de envio, formato dos comandos e temporizações necessárias para a comunicação durante a inicialização e anti-colisão dos dispositivos. Um dos aspectos estudados na norma refere-se ao "*Frame delay time PCD to PICC*". Este define o tempo máximo entre o final da transmissão do PCD (última pausa) ao início da transmissão do PICC (primeira modulação do start bit). Este tempo é definido na norma através de duas funções, dependendo do final de transmissão do PCD e do seu respetivo comando (*Request comand*). A figura 4.6 ilustra o *Frame delay time* do PCD to PICC.

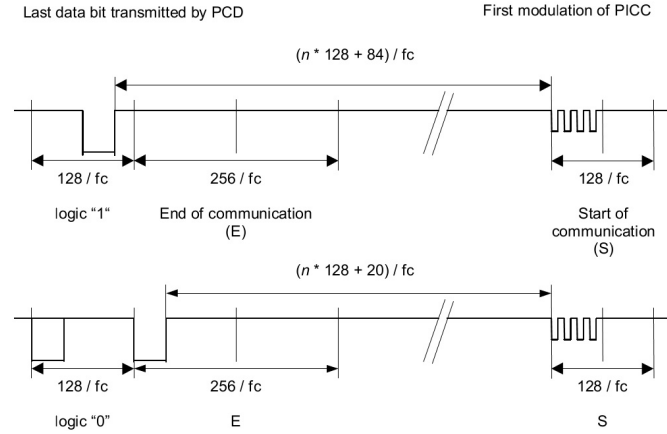


Figura 4.6: Frame delay time do PCD para PICC[23].

A figura ilustra a constante “n” para o cálculo do *Frame delay time* do PCD para o PICC. A constante depende do comando enviado pelo PCD, e encontra-se representado na tabela 4.6. O tempo mínimo entre o final da transmissão do PICC e a primeira pausa transmitida por parte do PCD (*frame delay time* PICC to PCD) toma o valor mínimo de: $\frac{1172}{f_{13.56MHz}}$.

Tipo de comando	n	Frame delay time	
		“1” Lógico	“0” Lógico
<i>Request comand</i> (tipo A) <i>Wake-up comand</i>	9	$\frac{1236}{f_{13.56MHz}}$	$\frac{1172}{f_{13.56MHz}}$
<i>Anticollision comand</i>			
<i>Select comand</i>			
Outros comandos	≥ 9	$\frac{(n * 128 + 84)}{f_{13.56MHz}}$	$\frac{(n * 128 + 20)}{f_{13.56MHz}}$

Tabela 4.6: Frame delay time dos comandos enviados pelo PCD.

O tempo mínimo medido entre dois comandos *Request* (*Request Guard Time*) é também definido na norma e apresenta o valor $\frac{7000}{f_{13.56MHz}}$.

Trama *Request* e *Wake-Up*

Analisando agora a estrutura da trama de envio para os casos de pedido⁷ (*Request comand*) e *Wake-up comand* apresentam o mesmo formato, diferenciando apenas o conteúdo da informação enviada. Para o caso da trama de início de comunicação ser do tipo *Request* ou *Wake-up*, os valores enviados correspondem a “26” e “52” respectivamente. A tabela 4.7 apresentam o formato da trama *Request* e *Wake-up*, usada para a iniciação da comunicação entre os dispositivos. De notar que a transmissão da informação ocorre com

⁷O *Request comand* é relativo ao tipo A.

o envio do bit menos significativo em primeiro lugar. As letras “S” e “E” representam o início e fim da comunicação respetivamente.

		Data							
<i>Request</i>	S	0	1	1	0	0	1	0	E
<i>Wake-up</i>	S	0	1	1	0	1	0	0	E

Tabela 4.7: Frame delay time dos comandos enviados pelo PCD.

Trama genérica

A trama em causa permite o envio de n bytes de informação na mesma trama de envio. São utilizadas para a troca de informação entre os dispositivos e, a cada byte enviado, é sucedido o envio de um bit de paridade:

- Início da comunicação (S);
- Envio de n bytes seguidos de um bit de paridade;
- Fim da comunicação (E).

4.1.4 Estados do PICC

O dispositivo PICC é definido por cinco estados dos quais:

- Power OFF;
- Idle;
- Ready;
- Halt;
- Activo.

A figura 4.7 apresenta o diagrama de interações dos estados definidos pela norma.

O PICC encontra-se no estado *Power Off* quando este não se encontra dentro do campo energizado pelo PCD. Deste modo, o PICC apenas sai deste estado após estar energizado pelo PCD, passando a encontrar-se no estado *Idle*. Neste estado, o PICC apresenta o seu *modem* funcional⁸, pronto a receber comandos vindos do dispositivo PCD (inicialmente comandos do tipo *Request* e *Wake-Up*).

A mudança do estado *Idle* para *Ready* é efetuada após o envio de um comando *Request* ou *Wake-up*. O estado *Active* é selecionado após a seleção do PICC por parte do PCD, através do comando UID (*Unique IDentification*). De notar que os métodos de anti-colisão encontram-se implementados neste estado. O PCD garante a anti-colisão de

⁸A modulação e desmodulação do PICC passa a estar ativa. O PICC é agora capaz de processar a onda transportadora (*carrier*) e proceder ao envio da onda *subcarrier*. A palavra **modem** deriva da junção das palavras **modulator** e **demodulator**.

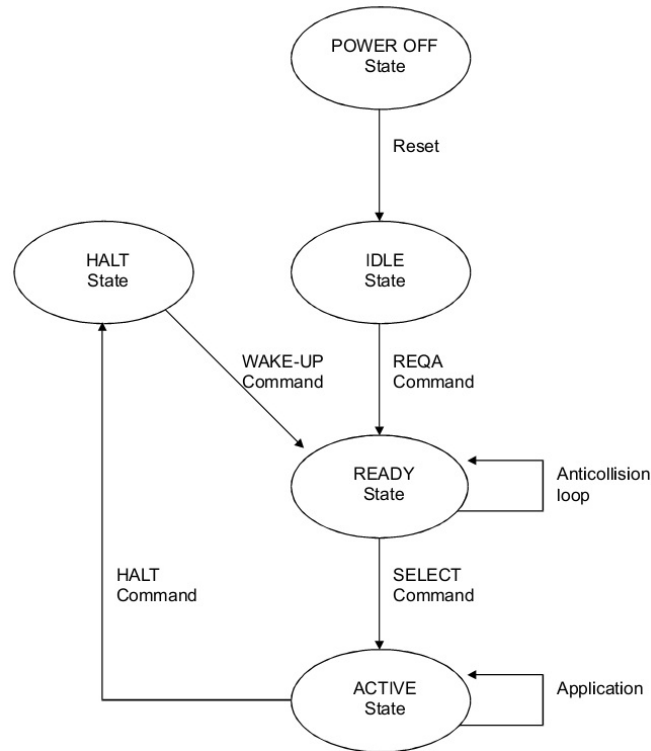


Figura 4.7: Diagrama de estados do dispositivo PICC (tipo A)[23].

dois ou mais dispositivos através de uma trama de anti-colisão que é enviada para o meio energizado em ciclo infinito.

O estado *Active* é garantido após a seleção do PICC ter sido efetuado através do seu UID (*Unique IDentification*)⁹.

O estado *Halt* está disponível através do comando *Halt*. A transição deste estado é apenas possível para o estado *Ready* através de um comando *Wake-up*.

4.2 Protocolos de comunicação Industrial

No que respeita à comunicação dos dispositivos, existe a possibilidade de optar por uma solução cablada ou não cablada. A solução cablada tem a desvantagem do custo associado ao número de condutores necessários para o funcionamento da rede e infraestruturas para o seu suporte. A implementação da rede é mais trabalhosa nas soluções cabladas e apresentam menor versatilidade. No entanto, para equipamentos fixos, esta limitação é descartada.

No caso da soluções não cabladas/*wireless*, não existe a necessidade de cabos para estabelecimento da rede pelo que esta constitui a sua maior vantagem. A sua seleção requer alguma atenção dado que poderá sofrer problemas de interferência, principalmente em ambientes industriais (motores eléctricos, etc).

⁹A identificação única da *tag* já foi anteriormente abordada e evidenciada pelo autor. O capítulo 6 abordada a identificação de *tags* do tipo ID-1 através do modem SM-130, cortesia da Sunmicro.

O autor inicialmente ponderou a hipótese da utilização do uso de WSN (*Wireless Sensor Networks*) como meio de transmissão entre os nodos RFID e a Central de Processamento de Dados. O módulo MRF24J40, cortesia da Microchip, constitui uma boa possibilidade para o estabelecimento da rede. O módulo em causa apresenta suporte:

- Suporte do protocolo IEE 802.15.4;
- Suporte para os protocolos ZigBee e MiWi.

O protocolo IEE 802.15.4 define as duas primeiras camadas de rede no que diz respeito às WSN. O módulo MRF24J40-MA constitui um dos módulos WSN mais económicos do mercado (cerca de 9 euros por unidade), com uma frequência de 2.4 GHz e alcances a atingir os 120 metros. Dito isto, o módulo constitui uma ótima escolha no que diz respeito ao uso de uma solução *wireless*. A interface de comunicação deste módulo é efetuada via SPI. A Digi International apresenta soluções wireless interessantes pela sua simplicidade de utilização. No entanto, o custo da solução não é competitivo, apresentando um custo unitário de aproximadamente 30 euros.

No que diz respeito às soluções cabladas. O equipamento concebido pelo autor é controlado por microcontroladores pelo que o tipo de comunicação a utilizar deverá ser escolhido tendo em conta a plataforma utilizada. Os microcontroladores dispõem de ligações série, pelo que o autor optou pelo uso de uma comunicação série do tipo EIA RS-232 para interligação entre dispositivos.

4.2.1 RS-232/ RS-422

O protocolo RS-232, apesar da sua baixa transferência de dados, é das comunicações mais utilizadas devido à sua simplicidade e facilidade de implementação. Atualmente os protocolos *USB* e *FireWire* vieram substituir este tipo de comunicação.

É uma comunicação assíncrona, ou seja, não existe um relógio que defina a frequência de amostragem. A frequência de amostragem desta comunicação é definida pelo *baud rate*, pelo que ambos os equipamentos necessitam de estar conectados com frequências de amostragem similares. As frequências de amostragem podem apresentar valores diferentes, sendo que os mais frequentes apresentem um *baud rate* entre 9600 e 115200 bps (*bits per second*).

Ambos os dispositivos podem enviar dados simultaneamente, pelo que é uma comunicação do tipo full-duplex. Apenas são necessários três condutores para a conexão de dois dispositivos (condutor para a transmissão, receção e *ground*). Entre dois aparelhos, a comunicação terá que estar cruzada, ou seja, a transmissão de um nodo terá que estar ligada à receção do outro nodo e vice-versa. O protocolo EIA RS-232 é uma comunicação do tipo *node-to-node*, ou seja, apenas dois equipamentos podem estar conectados entre si. Esta solução não satisfaz as necessidades do sistema integrador, que irá necessitar de outro tipo de comunicações. Esta é uma comunicação unipolar pelo que é bastante afetada pelo ruído eléctrico. A distância máxima entre dispositivos é cerca de 15 metros (depende do *baud rate* utilizado e capacitância da linha). O conector mais utilizado neste tipo de comunicação é o conector DB-9. A figura 4.8 e tabela 4.8 ilustra o conector DB-9 e respetivo *pin-out*.

A comunicação RS-422 apresenta maior imunidade ao ruído devido à comunicação ser diferencial o que se traduz num maior alcance de transmissão de dados. Este tipo de

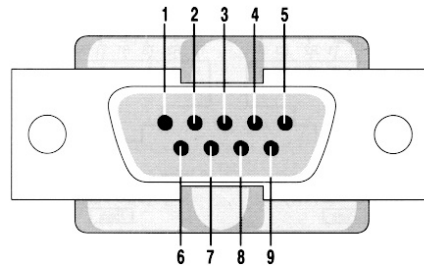


Figura 4.8: Conector DB-9[12].

Pino	Descrição
1	Deteção de dados a enviar (CD)
2	Receção de dados (RX)
3	Transmissão de dados (TX)
4	Terminal de dados pronto (DTR)
5	Massa/Terra/Comum (GND)
6	Dados prontos a enviar(DSR)
7	Pedido de transmissão (RTS)
8	Resposta ao pedido de transmissão (CTS)
9	Indicador de telefone (RI)

Tabela 4.8: *Pin-out* do conector DB-9.

comunicação permite apenas a interligação de um dispositivo transmissor (*master*) até um total de 10 receptores (*slaves*).

4.2.2 RS-485

A comunicação RS-485 visa colmatar as limitações até agora abordadas pelas comunicações RS-232 e RS-422. Tal como o RS-422 é uma comunicação diferencial, com boa imunidade ao ruído, permitindo um maior alcance de transmissão de dados. A comunicação é efetuada através de um cabo de par entrançado com vista a eliminar interferências electromagnéticas externas que possam causar degradação ou perdas de informação na comunicação.

A transmissão do RS-485 é denominada de sistema balanceado. Esta designação deve-se ao facto da variação da oscilação do sinal dos dois canais serem opostos. A figura 4.9 ilustra a simetria ideal da variação do par de cabos.

A camada física deste tipo de comunicações é adotado por diversos protocolos industriais, dos quais se destacam o *Modbus* e o *Profibus*. A rede pode operar em modo *full-duplex* (FDX) ou *half-duplex* (HDX). No caso do *half-duplex*, a linha de envio e transmissão de dados é partilhada pelo mesmo par entrançado, pelo que o nodo do tipo *slave* apenas poderá transmitir dados após finalização da transmissão por parte do *master*. Dado que o modo *half-duplex* utiliza o mesmo par entrançado de fios, tem a vantagem da utilização de menos cablagem que o modo *full-duplex*.

Em relação ao modo *full-duplex*, um nodo do tipo *slave* pode efetuar a transmissão de dados livremente, desde que nenhum outro nodo do tipo *slave* esteja a transmitir

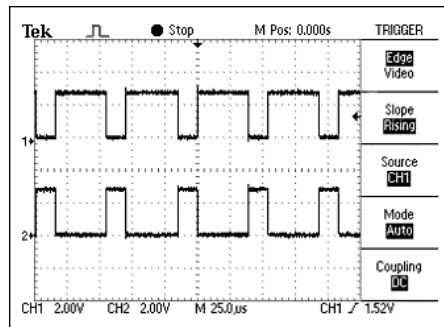


Figura 4.9: Oposição dos sinais da comunicação diferencial RS-485[10].

dados. A norma deste protocolo define um máximo de 256 dispositivos ligados à linha. O protocolo RS-485 define um alcance de transmissão de dados até 1200 metros com *baud rate* até 100 kbps. Para um *baud rate* de 10 Mbps a distância de transmissão, a distância de transmissão situa-se nos 12 metros (figura 4.10).

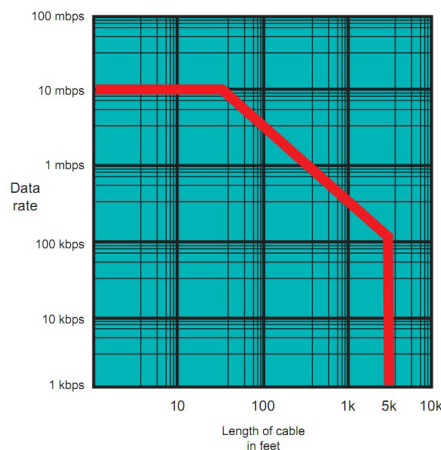


Figura 4.10: Distância máxima de transmissão (feet) em função do baud rate[40].

O protocolo RS-485 aborda apenas as características eléctricas e modos de operação da rede que constituem a primeira camada do protocolo *OSI*. A tabela 4.9 apresenta as principais características eléctricas da comunicação RS-485 especificada pela respetiva norma.

Resistências de terminação

O protocolo RS-485 prevê a utilização de resistências de terminação nas extremidades do par trançado de forma a reduzir distorções de sinal. As resistências de terminação devem ser colocadas em paralelo com o par trançado e dependem das características de impedância do cabo utilizado. O protocolo RS-485 define as resistências de terminação com o valor de 120Ω como caso genérico. No entanto, dado que a norma não dita a utilização obrigatória de 120Ω , o seu dimensionamento é o procedimento mais correto com vista a garantir o mínimo de reflexões do sinal. A equação 4.3 representa o calculo das resistência de terminação (R_T) em função da impedância do cabo (Z_0). De notar

Características	RS485
Modo de Operação	Diferencial
Número máximo de nodos	256
Comprimento máximo da linha	1200 metros
Taxa de máxima de transmissão de dados	10 Mbps
Sensibilidade do RX	± 200 mVolt
RX lógico (high)	> 200 mVolt
RX lógico (low)	< 200 mVolt
Impedância de entrada máxima (RX)	12 k Ω
Níveis de tensão	-7 Volt a +12 Volt
Impedância de carga (TX)	54 Ω
Corrente máxima de curto-circuito	250 mA

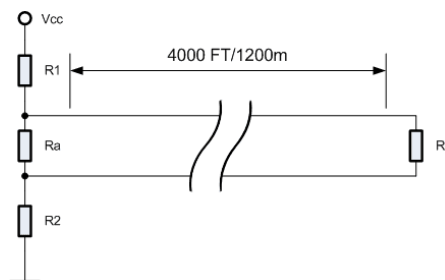
Tabela 4.9: Características eléctricas do protocolo RS-485.

que as reflexões continuam a estar presentes na linha de comunicação RS-485 devido às tolerâncias da impedância e resistência do condutor.

$$\frac{R_T - Z_0}{Z_0 + R_T} \quad (4.3)$$

Resistências de *pull-up* e *pull-down*

O protocolo RS-485 define uma diferença de potencial de pelo menos 200 mVolt entre os dois condutores do par entrançado. A solução adotada para garantir os 200 mVolt consiste no uso de resistências de *pull-up* e *pull-down*, tal como ilustrado na figura 4.11.

Figura 4.11: Resistências de *pull-up* e *pull-down* presentes na comunicação RS-485.

As resistências R_a e R_b representam as resistências de terminação. Considerando 120 Ω como sendo o valor dimensionado pela equação 4.3 para evitar o máximo de reflexões e uma tensão V_{cc} igual a 3.3 Volt, temos:

$$R_T = \frac{U}{I} \Leftrightarrow I = \frac{200mVolt}{60\Omega} = 3.3mA \quad (4.4)$$

Para garantir uma tensão igual ou superior a 200 mV, será necessário que a fonte externa V_{cc} debite uma corrente igual ou superior a 3.3 mA (equação 4.4). O cálculo das

resistências de *pull-up* e *pull-down* R_1 e R_2 é dado pela equação 4.5.

$$R_1 + R_2 = \frac{3.3V_{olt}}{3.3mA} = 1k\Omega \quad (4.5)$$

Foi obtido o valor de 1000Ω para as resistências de *pull-up* e *pull-down*. Para os parâmetros anteriormente, chega-se a um valor de 500Ω para as resistências R_1 e R_2 .

Funcionamento em rede

O protocolo permite a ligação de vários dispositivos em rede. No entanto, existem algumas considerações a reter no uso da comunicação. O protocolo define a utilização de um repetidor de sinal entre cada 32 dispositivos ligados à rede.

Os amplificadores operacionais dos nodos *slave* que efetuam a transmissão de dados não podem aplicar tensões diferenciais simultaneamente[41]. Quando um determinado nodo *slave* efetuar a comunicação com o *master*, todos os outros deverão ter os seus amplificadores operacionais de saída em estado de alta impedância. A alta-impedância na saída efetuada pelos amplificadores operacionais permite que estes não influenciem a linha de transmissão.

A topologia permitida pelo protocolo também apresenta algumas limitações. Apesar de ser permitido a implementação de topologias em estrela ou árvore, a mais recomendada e utilizada é a estrutura em barramento (*bus*).

O controlo de acesso ao meio não é definido pelo protocolo RS-485 e, como foi evidenciado anteriormente, terá que coexistir um mecanismo que controlo do meio de transmissão dos dispositivos do tipo *slave*. Seguidamente será apresentado o protocolo *Modbus* que irá permitir o controlo de acesso ao meio dos dispositivos e definir uma estrutura de mensagens para a comunicação em rede do sistema integrador a ser implementado.

4.2.3 Modbus

O *Modbus* foi proposto pela Modicon na década de 1970. É um protocolo de domínio público e dos mais utilizados a nível industrial. O protocolo define como meio físico o RS-232, RS-485 e *Ethernet*. No caso das comunicações série RS-232 e RS-485, o protocolo define uma estrutura de mensagem centralizada do tipo *Master/Slaves*.

No caso do meio físico ser *Ethernet*, o protocolo usufrui da utilização da estrutura TCP/IP para comunicação entre dispositivos (*Modbus TCP*). O *Modbus TCP* faz uso do modelo Cliente/Servidor para a comunicação entre os dispositivos existentes na rede.

No caso da comunicação série (RS-232/RS-485), o protocolo define dois meio de transmissão:

- *Modbus ASCII*;
- *Modbus RTU*.

No modo *Modbus ASCII*, apenas são enviados caracteres ASCII visíveis. Contudo, o tempo de transmissão da mensagem é cerca de duas vezes maior que o modo RTU. A tabela 4.10 e 4.11 apresentam a trama de dados para o modo RTU e ASCII respetivamente. A trama de dados definida por este protocolo é similar tanto para o *master* como para o *slave*.

ID Destino	Função	Dados (até 252 bytes)	CRC (16 bits)
------------	--------	-----------------------	---------------

Tabela 4.10: Trama de envio em modo RTU.

“:”	ID Destino (2)	Função (2)	Dados (até 252 bytes)	LRC (2)	CR + LF
-----	----------------	------------	-----------------------	---------	---------

Tabela 4.11: Trama de envio em modo ASCII.

Em ambos os modos (RTU ou ASCII), o protocolo *Modbus*[13] define a mesma estrutura de mensagem:

- Endereço (*slave*);
- Função;
- Dados;
- Gestão de erros (CRC ou LRC).

O bloco função e dados definem a unidade de protocolo de dados (*PDU-protocol data unit*). Os campos verificação de erros (CRC ou LRC) e endereço apresentam a informação relativa à unidade de aplicação de dados para comunicação na rede (*ADU - application data unit*).

Ao nível do byte, o *Modbus* ASCII define 7 bits de dados e 8 bits de dados para o caso do *Modbus* RTU. Para além dos bits de dados, o protocolo define a utilização de um bit de paridade a cada byte de dados¹⁰. Conforme ilustrado na tabela 4.11, o início da trama de dados é iniciado com o caractere “:” (0x3A). O fim da mensagem é delimitado pelos caracteres *CR-Carrige return* (0x0D) e *LF-Line feed* (0x0A). Tanto no *Modbus* ASCII como RTU, o numero de dados enviado pode variar entre 0 e 252 caracteres/bytes respetivamente.

O endereço *ID Destino* define o acesso ao meio dos *slaves* ligados à rede. Se a mensagem conter o endereço do *slave*, este, e apenas este, deverá responder ao pedido efetuado pelo *master*. A trama *Modbus* contém o campo Função que define o tipo de pedido requerido pelo *master*. Os pedidos dividem-se em dois tipos genéricos:

- Escrita de dados;
- Leitura de dados.

Considerando que um determinado *slave* presente na linha de comunicações é um autómato, o *master* poderá controlar este equipamento através de um pedido/envio de informação. O autómato ao receber um determinado pedido/envio por parte do *master* poderá realizar:

- Envio de uma atuação de saída digital/analógica (escrita de dados);
- Leitura de uma entrada digital/analógica (leitura de dados);

¹⁰Embora o bit de paridade seja definido pelo protocolo, não existe grande necessidade da sua utilização devido ao formato da trama já incluir o uso do CRC para verificação da mensagem.

- Outro tipo de operações dependente do *hardware* do autómato.

Para a verificação da integridade dos dados, o *Modbus* utiliza o CRC 16 (*cyclic redundancy check*) para o modo RTU e faz uso do LRC (*longitudinal redundancy check*) para o modo ASCII. O protocolo define dois bytes/caracteres para ambos os modos. No caso do modo RTU, o CRC implementado contém um valor de 16 bits e é calculado para toda a mensagem a montante. No caso do modo ASCII, os caracteres de início e finalização de mensagem não são utilizados para o cálculo do LRC (caracteres “:”, *Carriage return* e *Line feed*).

O endereço do *slave* e função são definidos por um byte de dados no modo RTU e dois caracteres no modo ASCII.

Funções do protocolo *Modbus*

O protocolo Modbus[13] define três categorias no que diz respeito ao código de funções.

- Funções públicas;
- Funções definidas pelo utilizador;
- Funções reservadas.

As funções públicas encontram-se bem definidas e documentadas pela organização *modbus.org*. Este tipo de funções é único e encontram-se publicamente documentadas, pelo que não poderão ser utilizadas para outro tipo de funcionalidades. A figura 4.12 apresenta a descrição das funções públicas definidas no protocolo Modbus[13].

				Function Codes			
				code	Sub code	(hex)	Section
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1
			Write Single Coil	05		05	6.5
			Write Multiple Coils	15		0F	6.11
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4
			Read Holding Registers	03		03	6.3
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Write Single Register	06		06	6.6
			Write Multiple Registers	16		10	6.12
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17
			Mask Write Register	22		16	6.16
			Read FIFO queue	24		18	6.18
	File record access	Read File record	20		14	6.14	
		Write File record	21		15	6.15	
	Diagnostics	Read Exception status	07		07	6.7	
		Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8	
Get Com event counter		11		0B	6.9		
Get Com Event Log		12		0C	6.10		
Report Slave ID		17		11	6.13		
Other	Read device Identification	43	14	2B	6.21		
	Encapsulated Interface Transport	43	13,14	2B	6.19		

Figura 4.12: Descrição das funções públicas[13].

No caso das funções definidas pelo utilizador (*User defined function codes*), estas são de acesso livre ao utilizador, pelo que poderão ser usadas para integração de sistemas. O protocolo *Modbus*[13] define duas gamas para a utilização deste tipo de funções:

- Gama disponível entre 65 e 72;
- Gama disponível entre 100 a 110.

O sistema de integração fará uso destas funções para o funcionamento do sistemas a ser implementado.. As funções reservadas são propriedade de algumas empresas pelo que não poderão ser utilizadas para integração de sistemas. A imagem 4.13 ilustra a categoria de funções implementada pelo *Modbus*.

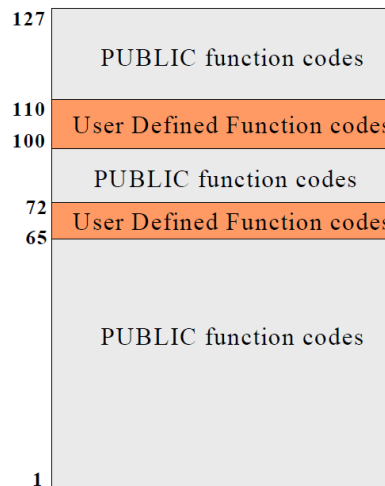


Figura 4.13: Categorias de funções *Modbus*[13].

4.3 TCP/IP

O TCP/IP (**T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol/**I**nternet **P**rotocol) representa um conjunto de protocolos de comunicação para o envio e recepção de dados através da Internet. A Internet é a comunicação de múltiplas redes com diferente hardware[43]. A arquitetura TCP/IP deu o seu início nos anos 70 através de uma agência do departamento de defesa dos Estados Unidos da América denominada DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). O objetivo da DARPA consistia na interligação de bases militares e departamentos de pesquisa com vista à prevenção e o alerta de possíveis catástrofes que pudessem afetar os EUA. A ARPANET é o nome da rede que permitiu concretizar o objetivo da DARPA. A rede em causa tinha uma estrutura descentralizada e baseada em pacotes NPC (*Network Control Protocol*).

No final dos anos 70 devido ao facto do acentuado crescimento da ARPANET, surgiu a necessidade da mudança dos protocolos de comunicação. No dia 1 de Janeiro de 1983 o TCP/IP passou a substituir os protocolos de transmissão NPC[3].

A rede ARPANET tomou então dois rumos. Em 1983 foi criado o MILNET, uma rede para assuntos militares. Em 1988 deu-se a abertura da restante rede da ARPANET para fins comerciais, passando a ter o nome de Internet.

Atualmente a Internet é a maior rede do universo. A Organização das Nações Unidas afirma que existiam mais de 2 biliões de conexões no final de 2010, destacando que à 10 anos atrás existiam apenas 250 milhões de ligações à Internet[15].

A Internet é hoje em dia considerada uns dos maiores avanços tecnológicos. Abaixo apresentam-se os serviços mais usados pela Internet¹¹.

- Acesso a servidores web para procura de informação;
- Correio eletrónico;
- Transferência de ficheiros;
- Acesso remoto (acesso via TCP/IP a um computador remotamente);
- Chamadas de vídeo e voz.

4.3.1 Arquitetura da Internet

A compreensão integral da arquitetura do TCP/IP é de difícil digestão pelo facto de ser muito complexa. Por esta razão, o modelo TCP/IP encontra-se dividido em camadas de forma a facilitar a compreensão e o estudo da sua arquitetura¹².

Como foi dito anteriormente, o protocolo TCP/IP é um conjunto de diversos protocolos que tornam possível a comunicação de várias formas através da Internet. A divisão do modelo TCP/IP por camadas apresenta a grande vantagem da abstração protocolar. Torna-se por isso mais fácil para o utilizador implementar serviços baseados no modelo TCP/IP, dado que a maior parte das aplicações implementadas residem nas camadas superiores da pilha/*stack* TCP/IP¹³.

A arquitetura do TCP/IP apresenta-se dividida em cinco camadas distintas das quais se destacam:

- Aplicação;
- Transporte;
- Internet;
- Rede ;
- Física.

O modelo OSI, apesar de ter uma estrutura de sete camadas, apresenta-se como o modelo de referência para a arquitetura TCP/IP. A imagem 4.14 apresenta a relação entre os dois modelos.

¹¹Seguidamente serão abordadas as camadas representativas do TCP/IP. Note-se que os serviços abaixo mencionados dizem respeito à camada superior do TCP/IP (Aplicação).

¹²Pelo facto do modelo estar encapsulado em camadas, é comumente denominado de pilha ou *stack*.

¹³Normalmente uma implementação baseada em serviços TCP/IP apenas reside na camada superior, denominada camada de aplicação.

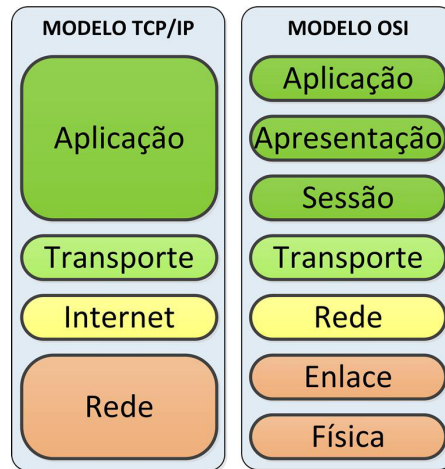


Figura 4.14: Relação entre o modelo de referência OSI e o modelo TCP/IP.

Encapsulamento de dados

Como foi dito anteriormente, o TCP/IP encontra-se definido em camadas. A cada camada, nova informação é acrescentada ao pacote de dados dando-se assim o encapsulamento de dados. A mensagem de dados vai sendo encapsulada ao longo das respetivas camadas que compõem o TCP/IP. As denominações do pacote de dados apresentam denominações diferentes para cada camada.

O pacote de dados começa a ser construído na camada Aplicação onde é denominado de **mensagem**. Ao ser encapsulada nova informação na camada de transporte, o pacote de dados passa a designar-se de **segmento**. O **segmento** ao entrar na camada Internet é-lhe acrescentada nova informação tomando o novo de **datagrama**. Finalizando, o datagrama muda o nome para **trama** ao ser acrescentada nova informação na camada Rede. A imagem 4.15 apresenta as designações do pacote de dados em função da respetiva camada.

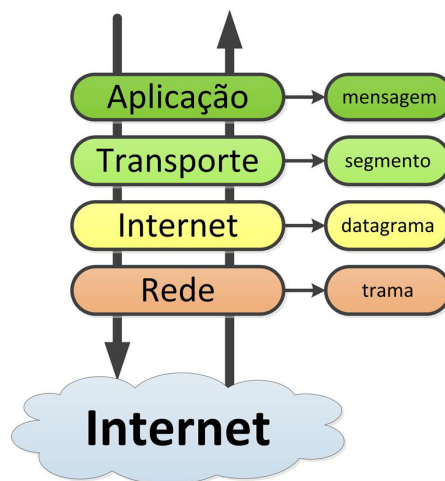


Figura 4.15: Designação do pacote de dados em função da camada TCP/IP.

4.3.2 Descrição das camadas TCP/IP

Segue-se uma breve descrição das camadas representativas da pilha TCP/IP:

- **Camada Aplicação** - A Aplicação é a camada superior do protocolo TCP/IP e a mais visível para o utilizador. É nesta camada que se encontram os programas de comunicação entre dispositivos. Na maior parte dos casos a implementação desta camada é suficiente para satisfazer as necessidades de projeto, facilitando a sua implementação. Destacam-se alguns exemplos de aplicações mais usadas: FTP, Telnet, HTTP e SNMTP. A interface entre a camada de aplicação e a camada de transporte é definida através de um número de porto e sockets[37].
- **Camada Transporte** - A camada de transporte tem como objetivo assegurar a integridade e receção dos dados ao destino pretendido através de mecanismos de transporte. O protocolo de transporte mais utilizado é o TCP (*Transmission Control Protocol*) dado que permite fiabilidade na transmissão de dados, supressão de dados duplicados, controlo de fluxo, deteção de erros, controlo de congestão, etc. O protocolo de transporte UDP apresenta-se como outro dos mecanismos da camada de transporte. Ao contrário do TCP (que apresenta estabelecimento de ligação), o UDP não é orientado à ligação, ou seja, não estabelece a ligação e não garante a integridade e receção dos dados. A integridade dos dados, controlo de fluxo, controlo de congestão e outro tipo de mecanismos não se encontram implementados no UDP. Apesar do UDP não garantir a confiabilidade dos dados que o TCP permite, é muito usado em aplicações que necessitem de um mecanismo de transmissão de dados que seja rápido e tolerante a perdas ou corrompimento de informação (fluxo de dados em tempo real tais como chamadas de videoconferência e jogos online onde a perda de alguma informação não influencia a qualidade do serviço).
- **Camada Internet** - A camada Internet é encarregue oferecer os meios necessários para o acesso a qualquer rede física e, por sua vez garantir o sucesso de transmissão/receção de dados. A camada Internet é das camadas mais importantes do TCP/IP uma vez que permite o encaminhamento dos pacotes de dados (datagramas) para qualquer destino da rede. É nesta camada que são definidos os datagramas e o endereçamento IP. Os protocolos IP, ARP, ICMP, IGMP e ARP são utilizados nesta camada.
- **Camada Rede** - A camada Rede é a primeira camada do TCP/IP e especifica a forma de encaminhamento dos dados para qualquer rede física. Os protocolos mais utilizados nesta camada são o Ethernet, Token Ring, FDDI, X25 e IEEE 802.11 Wi-Fi. Independentemente do protocolo utilizado, a camada Rede procura dar resposta aos meios a serem implementados para, através de qualquer rede utilizada ser efetuado o correto encaminhamento de dados na ligação. É importante que se perceba que o TCP/IP não descreve ou normaliza qualquer protocolo de rede. O TCP/IP apenas normaliza as diferentes maneiras de acesso e operação com redes heterogéneas[37].

4.3.3 Camada de Transporte - Protocolo UDP

Como foi dito anteriormente, o protocolo UDP (muitas vezes mencionado *Unreliable Datagram Protocol*) não é orientado à conexão da ligação e pouco fiável na transmissão de informação. É um protocolo de implementação simples e eficiente, utilizado em transferência de ficheiros através do protocolo TFTP e serviços DNS[37]. O protocolo UDP não permite controlo de fluxo, envio de *acknowledgment* (ACK), mensagens contínuas ou outro tipo de serviços suportados pelo protocolo TCP pelo que não garante a entrega da mensagem às camadas superiores. A figura 4.16 ilustra o formato do datagrama UDP.

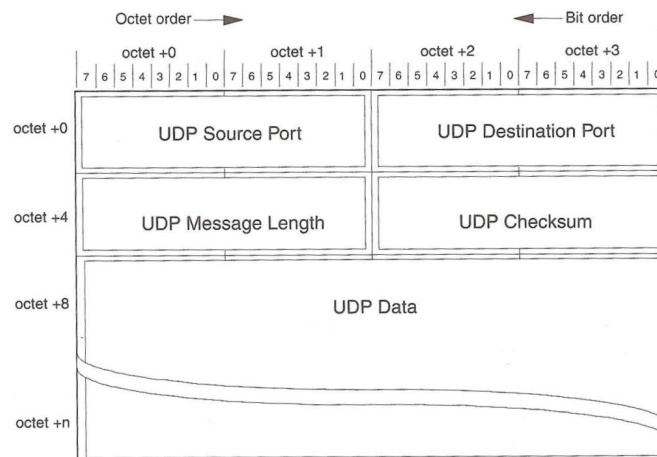


Figura 4.16: Formato do datagrama UDP[43].

O datagrama UDP é constituído por um cabeçalho (*header*) e *payload* (dados relativos à aplicação). O cabeçalho UDP é constituído por quatro campos distintos, cada um contendo dois bytes (16 bits):

- **Source port number (16 bits)** - Define o número do porto de envio do datagrama UDP. Este campo tem como função notificar o receptor acerca do porto de envio, no caso se ser necessário a resposta ao datagrama UDP.
- **Destination port number (16 bits)** - Campo relativo à identificação do porto destino para o envio do datagrama UDP;
- **Length (16 bits)** - Campo que define o tamanho total do datagrama (cabeçalho/header e dados da aplicação). O tamanho do cabeçalho do datagrama UDP é fixo (dois bytes para cada um dos quatro elementos constituintes do cabeçalho, ou seja 8 bytes). O tamanho máximo da mensagem UDP pode atingir o total de 65.535 bytes;
- **Checksum (16 bits)** - O Checksum é o último campo do cabeçalho e é usado para a verificação possíveis erros do cabeçalho e dados da aplicação.

4.3.4 Camada de Transporte - Protocolo TCP

O mecanismo de transporte TCP é bastante mais complexo que o UDP. O cabeçalho da mensagem é mais completo e as comunicações TCP têm obrigatoriamente que ser

estabelecidas e terminadas. O TCP, em comparação com as características do UDP apresenta:

- **Controlo de fluxo** - O TCP apresenta o mecanismo de gestão de fluxo dos pacotes enviados para o receptor. As máquinas ligadas á rede podem não suportar a elevada cadência de pacotes enviados pelo transmissor pelo que é necessário haver o mecanismo de controlo de fluxo que alerte o emissor para regular a quantidade de dados enviados;
- **Controlo de congestão** - O TCP incorpora vários mecanismos para efetuar o controlo de congestão do tráfego para a prevenção de um colapso de congestão. A congestão na rede ocorre quando um determinado nodo utilizada demasiada banda, causando uma deterioração da qualidade do serviço (atrasos na comunicação). Para colmatar isso, o TCP inclui mecanismos para o controlo imediato da congestão. O TCP incrementa sistematicamente a carga. Ao detectar o ponto de congestão efetua imediatamente a diminuição da carga;
- **Transferência de dados ordenada** - Através do número de sequência, os pacotes recebidos são re-organizados corretamente;
- **Re-transmissão de pacotes** - Qualquer erro de transmissão ocorrido, fragmentação de pacotes ou a não receção do *acknowledgment* de um determinado pacote implica a re-transmissão do pacote em causa. O *sequence number* permite a identificação do pacotes enviados pelo emissor. Do outro lado o receptor envia *cumulative acknowledgments* como mecanismo de informação para o emissor, alertando-o acerca do estado de receção dos pacotes. No caso de haver um determinado pacote que não tenha sido transmitido corretamente, o emissor será alertado para proceder à retransmissão do pacote;
- **Garantia de transmissão sem erros** - O protocolo TCP possui internamente um mecanismo de gestão de erros que garante a correta transmissão de todos os pacotes enviados. O mecanismo utilizado pelo TCP é o *checksum* de 16 bits¹⁴.

A figura 4.17 apresenta o formato do segmento TCP.

¹⁴Uma vez que o *checksum* não se apresenta como a melhor alternativa para a verificação de erros na mensagem, o CRC é implementado na camada inferior.

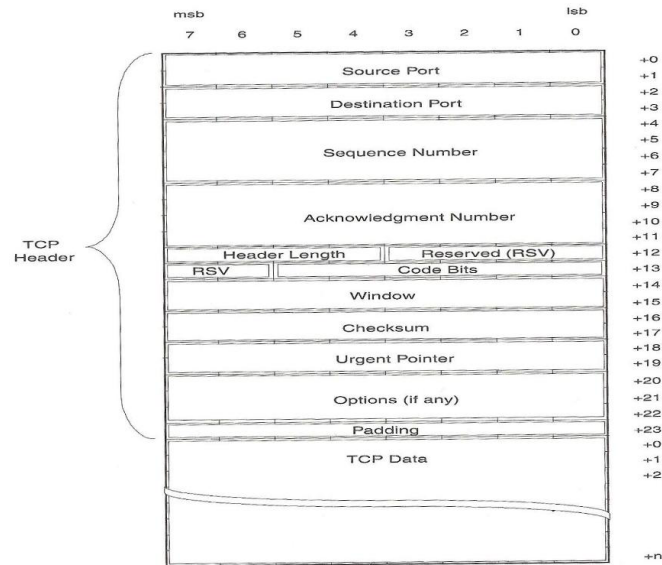


Figura 4.17: Formato do datagrama TCP[43].

Segue-se uma breve descrição da constituição do segmento TCP:

- **Source port (16 bits)** - Identificação do porto de envio do pacote;
- **Destination port (16 bits)** - Identificação do porto de receção do pacote;
- **Sequence number (32 bits)** - Designa o número de sequência dos dados transmitidos num determinado segmento para verificar se o respetivo segmento TCP foi recebido com sucesso;
- **Acknowledgment number (32 bits)** - Número sequencial do próximo byte de dados, enviado pelo equipamento receptor. Para um *sequence number*=80, o equipamento emissor espera um *acknowledgment number*=81, enviado pelo receptor de forma notificar o sucesso de transmissão e pedido de novo segmento. Seguidamente será abordado com maior detalhe o funcionamento do *sequence number* e *acknowledgment number*;
- **Header length/Data offset (4 bits)** - Especifica o tamanho (número de palavras de 32 bits) do cabeçalho TCP;
- **Reserved/RSV (2 bits)** - Reservado para uso futuro;
- **Control bits/Flags (6 bits)** - Campo que especifica o conteúdo/especificação do segmento em causa;
 - **FIN** - Finalização do envio de dados por parte do emissor;
 - **SYN** - Sincronização dos números de sequência. Informa o receptor acerca do primeiro segmento para estabelecimento da ligação;
 - **RST (*Reset*)** - Informa o destino acerca da ligação abortada na origem;

- **PSH (*Push*)** - Bit que pode ser ativo na camada de aplicação para solicitar o envio mais rápido dos segmentos TCP;
- **ACK (*Acknowledgment*)** - Informa o destino acerca da validade do campo *acknowledgment number*;
- **URG** - Indica que o campo *urgent point* contém dados significativos, ou seja, o segmento contém dados urgentes que deverão ser lidos com prioridade pela camada aplicação. Mais uma vez, a aplicação origem tem o controlo deste bit através da camada superior (aplicação);
- **Window (16 bits)** - Campo permite controlo de fluxo da informação enviada pela origem, evitando a sobrecarga do destino. Através deste campo a origem é notificada acerca de quantos fragmentos pode transmitir até que o emissor confirme a receção do primeiro fragmento. O transmissor irá tentar enviar os dados disponíveis na janela de receção sem aguardar uma ACK. Se o valor deste campo for igual a zero, o transmissor não envia dados para a receção até que o respetivo campo *Window* apresente um valor maior que zero;
- **Checksum (16 bits)** - Usado para verificação de erros do conteúdo do segmento TCP (cabeçalho e dados da aplicação);
- **Urgent pointer (16 bits)** - Campo que aponta para o primeiro byte urgente de dados no segmento;
- **Options (0-320 bits)** - Especifica as várias opções do protocolo TCP;
- **Padding** - O padding é o último campo do cabeçalho TCP. É composto por zeros e tem como função assegurar a finalização correta do cabeçalho e início dos dados da aplicação;
- **TCP Data** - Corresponde aos dados da camada aplicação.

4.3.5 Estabelecimento e terminação da ligação TCP

O mecanismo de transmissão de dados através do TCP é composto por três fases:

- Estabelecimento de ligação TCP;
- Troca de dados entre o cliente e o servidor;
- Terminação da ligação TCP.

O estabelecimento da ligação TCP é efetuado através de uma sequência de três mensagens (*handshake*). O pedido de ligação é estabelecido pelo cliente através de um pedido SYN e um número de sequência por ele arbitrado. O servidor inicialmente encontra-se aberto a pedidos efetuados pelo cliente (modo *listen*). Ao receber o pedido SYN, altera o seu estado para a receção do SYN (SYN-RECEIVED) e envia de volta uma mensagem SYN contendo a informação relativa ao *acknowledgment* (ACK) do pedido efetuado pelo cliente. Ainda relativo ao envio da mensagem SYN do servidor para o cliente, é acrescentado no segmento enviado um número de sequência estabelecido do lado do servidor.

O cliente, ao receber a resposta do seu pedido SYN efetua o estabelecimento da ligação TCP (ligação do cliente passa a *Established*) e envia para o servidor um segmento

TCP do tipo ACK para efetuar a sua alteração do estado TCP (do lado do servidor a ligação passa a ser *Established*). O estabelecimento de ligação entre o cliente e o servidor encontra-se finalizado. A ligação TCP entre o cliente e servidor pode neste momento trocar informação relativa aos dados da aplicação. A figura 4.18 demonstra a sequência de mensagens e mudança de estados para estabelecimento da ligação através do TCP.

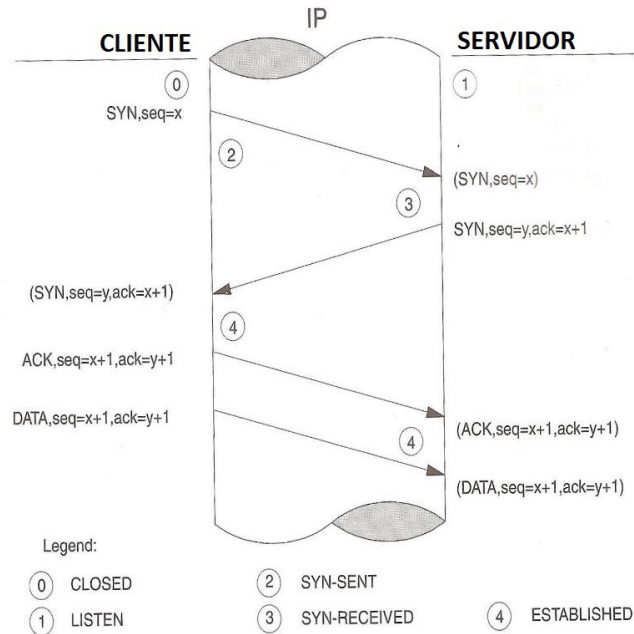


Figura 4.18: Sequência de mensagens para estabelecimento de ligação TCP[43].

O encerramento da ligação TCP apresenta quatro sequências de mensagens. O processo inicia-se com o envio de um segmento TCP do tipo FIN por parte do cliente¹⁵. O servidor recebe o segmento FIN e envia um segmento ACK de retorno. Do lado do servidor, a receção do segmento FIN implica a mudança de estado para CLOSE-WAIT. Por fim o servidor volta a enviar um segmento do tipo FIN e altera o seu estado para LAST-ACK. O cliente recebe o segmento FIN e envia de volta para o servidor um segmento TCP do tipo ACK. O cliente, que neste momento apresenta o estado como TIME-WAIT, espera um determinado tempo para alterar o estado da sua ligação para CLOSED, terminado definitivamente a sua ligação¹⁶. A figura 4.19 evidencia a sequência de mensagens para a conclusão da ligação TCP.

¹⁵Após o envio do segmento FIN, o estado do cliente passa a ser FIN-WAIT-1.

¹⁶O tempo de espera para conclusão da ligação do lado do cliente é definida pelo dobro do tempo de vida máximo de um segmento (120 segundos) a que corresponde o valor de quatro minutos[43].

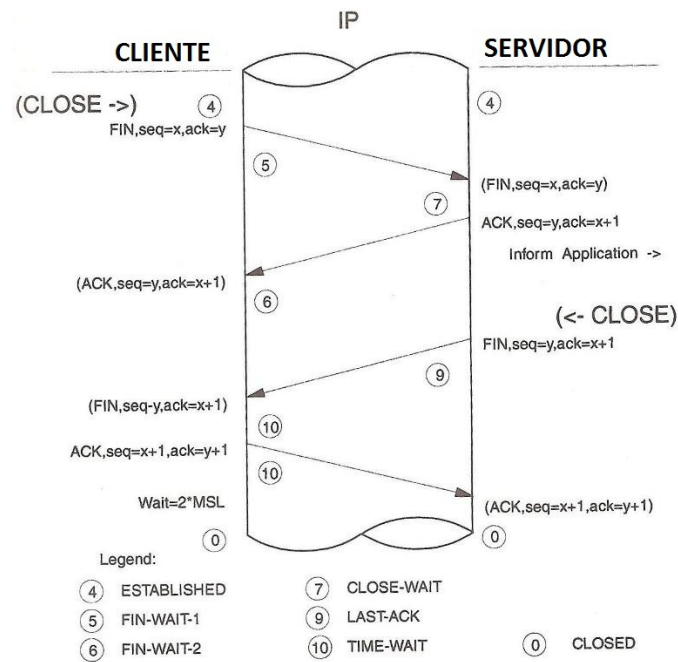


Figura 4.19: Sequência de mensagens para conclusão da ligação TCP[43].

Capítulo 5

Arquitetura da solução proposta

O presente capítulo pretende dar conhecimento ao leitor sobre a arquitetura proposta pelo autor. O foco principal do autor residiu na capacidade de integrar a tecnologia RFID (abordada no capítulo 3) na infraestrutura industrial, com a finalidade de prover facilmente uma perspectiva alargada dos sistemas de rastreabilidade: proporcionar serviços de rastreabilidade em conjunto com ações de otimização e controlo da cadeia de fornecimento. O equipamento deve ser o mais abrangente possível em termos de comunicação, de forma a ser possível comunicar com outros equipamentos industriais. Foi estabelecido pelo autor a utilização do protocolo *Modbus* pela sua aceitação como protocolo industrial, facilidade de implementação de novos serviços/funcionalidades e pela larga quantidade de equipamentos existentes na indústria com suporte incorporado para este protocolo.

5.1 Seleção da arquitetura

No que diz respeito à plataforma computacional, a escolha do autor baseou-se na implementação de uma estrutura centralizada. Existem vantagens e desvantagens para a utilização de uma estrutura centralizada. A escolha de uma estrutura centralizada ao invés da estrutura distribuída deve-se ao presente trabalho pretender a integração de diferentes equipamentos e tecnologias através do *Modbus* RS-485. Segue um breve resumo das vantagens e desvantagens de uma estrutura centralizada:

- **Fácil manutenção e implementação** - Comparada com a estrutura distribuída, a estrutura centralizada é mais fácil de ser estabelecida, apresenta menos complexidade algorítmica, menor custo de implementação e melhor integração e controlo dos dados;
- **Ponto de controlo centralizado** - O uso de uma arquitetura centralizada traduz-se num melhor controlo de segurança e proteção da informação;
- **Tomada de decisões** - A arquitetura centralizada apresenta a sua grande vantagem para os casos em que a tomada de decisões é efetuada por uma central.

No entanto, a simplicidade e baixa complexidade dos sistemas centralizados apresentam pagam-se com algumas desvantagens das quais se destacam as mais relevantes:

- **Velocidades de resposta baixa** - O uso de sistemas centralizados torna o sistema mais lento em termos de transmissão de dados (dependência da recepção e funcionamento da central);
- **Dependência de funcionamento** - Os sistemas centralizados residem no bom funcionamento da central de dados. A falha da central implica a rutura da transmissão de dados de toda a rede;
- **Baixa escalabilidade da rede** - Os sistemas centralizados apresentam mais limitações no número de aparelhos ligados à rede que os sistemas distribuídos.

5.2 Seleção da plataforma computacional

Em termos de escolha da plataforma computacional necessária para a implementação do sistema centralizado, foram consideradas três possíveis implementações:

- Sistema centralizado com base no uso computador pessoal (PC) como central de operações;
- Sistema centralizado através de um equipamento industrial (autômato);
- Sistema centralizado baseado na utilização de microcontroladores (μC) para interligação das várias tecnologias.

5.2.1 Baseado num autômato

O uso de equipamentos industriais como o autômato (PLC) apresenta-se como uma boa solução para a implementação de um sistema industrial abordado neste relatório. Os autômatos são equipamentos industriais que apresentam robustez para aplicações industriais (resistência a agressões externas como poeiras, vibrações e líquidos fazem deste equipamento uma solução atrativa). Os sistemas baseados em autômatos apresentam uma manutenção e programação mais facilitada que os sistemas acima abordados. A certificação industrial dos equipamentos industriais é outra das vantagens inerentes ao uso de um sistema centralizado baseado em autômatos. Os autômatos já apresentam normas e padrões industriais bem delineados, o que torna a inclusão do sistema conceptual mais rápida e apelativa ao comprador/empresa. Não obstante às vantagens da utilização de equipamentos industriais, não estaríamos neste momento a debater as melhores possibilidades de integração para o sistema se estes não apresentassem algumas desvantagens a serem consideradas. Seguem-se algumas desvantagens dos autômatos:

- **Custo elevado** - Os autômatos, pela sua robustez e certificação industrial apresentam um custo elevado;
- **Tamanho do equipamento** - Apresentam geralmente maiores dimensões que o uso de um sistema baseado em microcontroladores;
- **Consumo de energia elétrica** - Comparado com os microcontroladores, o consumo de energia deste tipo de equipamentos é consideravelmente mais alto;

- **Baixa flexibilidade** - Os autómatos apresentam-se como uma solução simples e de fácil programação. A utilização de autómatos em operações mais complexas não se revela a melhor solução. Por vezes a implementação de alguns serviços no autómato pode apresentar alguma complexidade¹.

5.2.2 Baseado num computador pessoal

A utilização de um computador pessoal é, para a proposta de integração do sistema de rastreabilidade, a solução menos atractiva. O computador pessoal apesar de ser um sistema com elevado processamento de dados e capacidade de memória, apresenta-se como um sistema muito pouco flexível (o menos flexível dos três em análise).

Este tipo de sistema não permite por si só a interligação entre o meio físico e o meio digital. A integração entre equipamentos torna-se mais difícil e dispendiosa dado que necessita de hardware para a interligação do sistema integrador. Os serviços TCP/IP e outro tipo de comunicações encontram-se bem definidos neste tipo sistemas mas pecam na ligação de periféricos físicos (saídas e entradas analógicas/digitais), custo do sistema associado ao hardware necessário para a ligação de outros equipamentos, tamanho desmesurado e elevado consumo eléctrico. O uso de um computador pessoal como arquitetura do sistema a ser desenvolvido não se revela de grande interesse para o sistema e será posta de parte.

5.2.3 Baseado num microcontrolador (μC)/microprocessador (μP)

Das três hipóteses abordadas, a que mais se destaca é o controlo da central através da utilização de um microcontrolador. O microcontrolador apresenta a vantagem de incluir internamente vários tipos de periféricos (digitais e analógicos), que serão necessários para a integração do sistema no ambiente industrial. Os sistemas baseados em microcontroladores beneficiam das seguintes vantagens:

- **Baixo custo** - O custo de um microcontrolador é muito baixo quando comparado com as plataformas computacionais acima descritas (modelos mais básicos de autómatos e computadores pessoais, salvo raras excepções, ultrapassam facilmente a barreira dos 300 euros). O preço de um microcontrolador do tipo PIC ronda os 6 euros²;
- **Baixo consumo de energia** - Esta é outra das vantagens dos sistemas computacionais baseados em microcontroladores. Os sistemas baseados em autómatos e

¹Depende das especificações do autómato em questão. Existem autómatos que apresentam várias línguas de programação, serviços web e gsm incorporados. No entanto, o leitor deve ter em atenção o custo/benefício da solução. Os sistemas de rastreabilidade são caros e por si só não dão provas concretas das suas vantagens de implementação (relação custo/benefício da solução). A implementação de raiz do sistema de rastreabilidade através de autómatos, com as especificações descritas (serviços web, serviços GSM) neste relatório teria um custo substancial.

²Veja-se o caso do microcontrolador PIC18F97J60 que inclui internamente a possibilidade de utilização do protocolo TCP/IP e apresenta o preço unitário de 5,76 euros. É certo que o microcontrolador necessita da elaboração ou compra de uma placa de desenvolvimento para o uso das suas capacidades. Admitindo a compra de uma placa de desenvolvimento embutida o preço ronda os 50-90 euros, o seu custo ainda se encontra bastante longe dos preços praticados nas plataformas computacionais do tipo autómato ou computador pessoal.

computadores pessoais estão longe de competir com este tipo de sistemas. Considerando o caso do microcontrolador PIC18F97J60 e as respectivas características elétricas[42] o consumo elétrico do microcontrolador apresenta o valor máximo de $0.9Watt$ ³;

- **Disponibilidade de vários periféricos e boa integração com outros equipamentos** - Os μC 's apresentam uma grande variedade de periféricos para a interligação com o meio físico. Abrangem vários tipos de comunicações das quais se destacam a USART (RS-232), SPI, I2C, CAN, LIN, USB, Ethernet, entre outras. Possibilitam a entrada de sinais digitais e analógicos e saídas digitais. O microcontrolador é um sistema muito completo em termos de integração com equipamentos devido ao tipo de arquitetura utilizada. A figura 5.1 apresenta o diagrama de blocos da arquitetura 16 bit de um microcontrolador PIC18, constituído essencialmente por:
 - **CPU core (Processador)** - Processamento de instruções e sistema operativo;
 - **Memória do programa** - Memória do tipo *Flash* (não volátil) que contém o programa do sistema operativo implementado pelo projetista;
 - **Memória de dados** - Memória do tipo RAM (volátil) onde estão alocados os registos do microcontrolador, nomeadamente os SFR (*Special Function Registers*) e GPR (*General Purpose Registers*);
 - **Memória externa** - O μC pode apresentar internamente memórias do tipo EEPROM para alocação de dados não voláteis;
 - **Periféricos** - Bloco que permite a integração digital com o meio físico por meio de: ADC, SPI/I2C, Ethernet, I/O, PWM, USART, etc;
- **Elevada flexibilidade** - O microcontroladores apresentam um ótimo suporte para a ligação do meio físico ao meio digital, garantindo uma elevada flexibilidade de operações e funcionalidades, razão pela qual os sistemas baseados em microcontroladores abrangem várias áreas de desenvolvimento e aplicações.

A implementação do sistema baseado em microcontroladores apresenta algumas desvantagens significativas. A manutenção e implementação deste tipo de sistemas revela-se mais complexa que as estudadas, exige um maior tempo de implementação e um bom *know-how* das capacidades deste tipo de sistemas, bem como conhecimentos relativos à sua programação para o desenvolvimento do sistema operativo. A qualidade de funcionamento do sistema operativo depende fortemente da qualidade do software e hardware desenvolvidos e exige a necessidade de elaboração de um projeto eletrónico (conceção de placas de circuito impresso, hardware, etc).

Não obstante às dificuldades aduzidas à implementação de plataformas computacionais baseadas em microcontroladores, a implementação do sistema integrador passa necessariamente pela utilização de microcontroladores pelas suas vantagens inerentes. O desenvolvimento da solução através de microcontroladores será um desafio para o autor

³Considerando o caso mais extremo do microcontrolador/ μC : valor máximo de tensão e corrente admitidos ($V_{max} = 3.6 Volt$ e $I_{max input current} = 250 mA$).

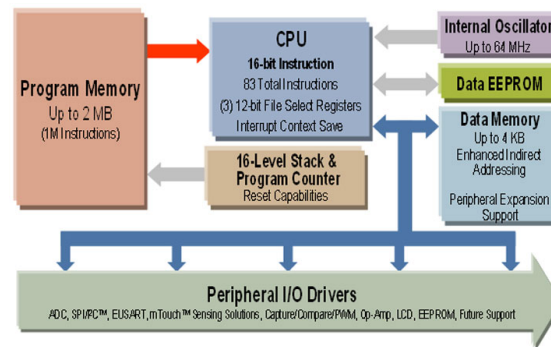


Figura 5.1: Representação do diagrama de blocos da arquitetura PIC18[1].

mas desde já se antecipa que a escolha desta solução irá apresentar um menor custo de implementação, o que se traduz num rápido retorno de investimento e maior aceitação por parte da indústria.

5.3 Arquitetura proposta

A imagem 5.2 ilustra o diagrama conceptual visionado pelo autor para a integração dos equipamentos industriais em conjunto com módulos de identificação automática baseados na tecnologia RFID. A integração dos “Nodos RFID” é garantida pela versão acrescentada do protocolo industrial *Modbus* (secção 5.4).

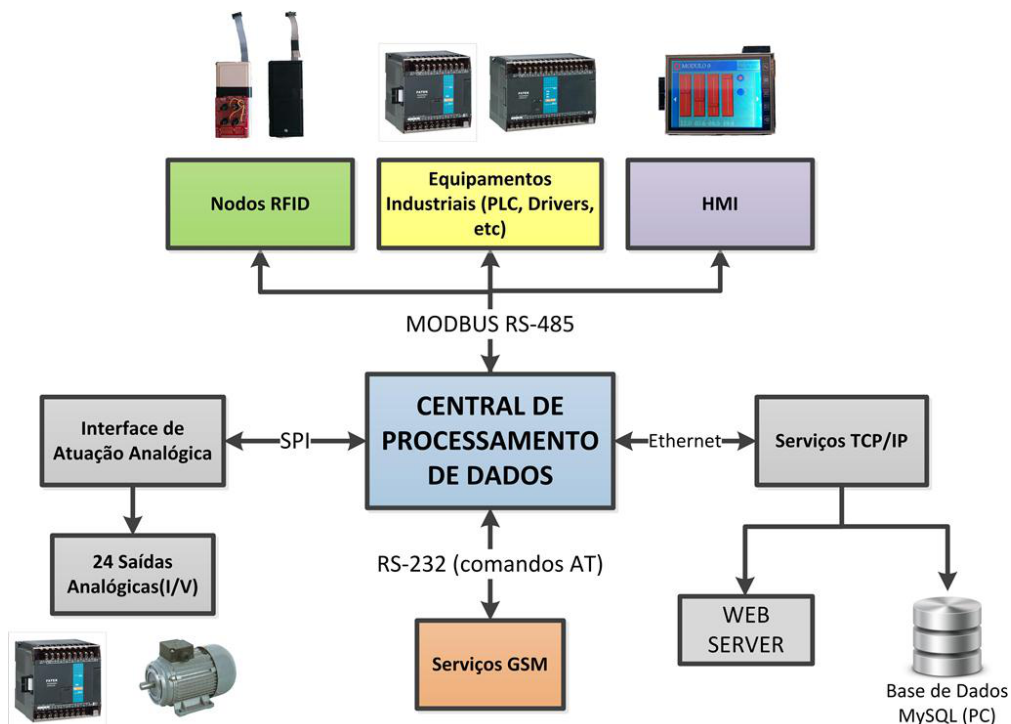


Figura 5.2: Diagrama de interações do sistema integrador proposto pelo autor.

Optou-se por uma estrutura centralizada, representada na figura com o nome de “Central de Processamento de Dados”. Os serviços GSM e TCP/IP garantem a expansibilidade das possibilidades e funcionalidades do sistema integrador a implementar, nomeadamente a monitorização e controlo remoto e serviços de alertas SMS.

Os serviços GSM garantem o envio remoto de alertas ou estados de produção para o encarregado de produção. Veja-se o seguinte exemplo: um determinado equipamento em funcionamento detectou uma anomalia na linha de produção pelo que repassa a informação à Central de Processamento de Dados. A Central de Processamento de Dados avalia o grau de alerta da anomalia e, caso seja necessário efetua o alerta através de SMS, notificando remotamente o encarregado de produção acerca do tipo de alerta ocorrido.

Os serviços TCP/IP garantem, através da criação de um servidor Web, a monitorização e controlo local/remoto dos estados de produção do ambiente industrial em qualquer parte do mundo, desde que para isso exista uma ligação de dados TCP/IP. Nesta fase o leitor deve lembrar que a integração de serviços TCP/IP (neste caso a criação de um servidor Web) irá ser efetuada numa plataforma computacional baseada num microcontrolador. O uso de um computador pessoal apenas para a integração de serviços TCP/IP não é, de todo, uma solução muito enriquecedora para o sistema pelo que, os serviços TCP/IP estarão incluídos internamente no microcontrolador que controla a Central de Processamento de Dados.

Prevê-se a implementação de uma base de dados através do MySQL. A informação contida nas *tags* RFID é lida pelos “Nodos RFID” e de seguida enviada para a Central de Processamento de Dados através de uma versão acrescentada do protocolo *Modbus*. A coleção e atualização da informação relativa aos serviços de rastreabilidade é posteriormente enviada para uma base de dados (MySQL) através de uma trama TCP/IP.

A implementação do módulo “Interface de Atuação Analógica” tem por objetivo primordial aumentar a expansibilidade do sistema integrador. O capítulo 6 irá abordar a implementação do módulo de interface analógico constituído por 24 canais com saídas analógicas disponíveis em tensão ou corrente. A interface analógica será, como se demonstra na figura 5.2, controlada pela Central de Processamento de Dados e irá permitir a ligação de equipamentos com entradas analógicas (drivers/variadores de motores, autómatos, etc).

A integração de módulos externos (Equipamentos de identificação automática, Equipamentos industriais e HMI) serão garantidos através da implementação do *Modbus enhanced*, com o meio físico RS-485 e formator de mensagens em modo RTU. O capítulo seguinte irá abordar a implementação em termos de hardware através da conceção de adaptadores de rede para a integração dos respetivos equipamentos.

A conceção dos módulos de identificação automática (RFID) para as operações de identificação de captura de dados serão também abordados no capítulo seguinte. Os módulos de identificação automática irão permitir a alocação de dados relativos à rastreabilidade dos itens e serviços de parametrização de processos através da utilização da memória interna da etiqueta.

A etiqueta referenciada no produto pode conter o registo de operações necessários à sua conceção do produto (tipo de materiais, tipo de montagem, etc) ou dados relativos à sua rastreabilidade (número de série, data de produção, peso, validade, etc).

5.4 Proposta de integração dos serviços de rastreabilidade

Até agora foram apresentadas as tecnologias existentes para prover serviços de rastreabilidade na indústria. No entanto, os sistemas até agora desenvolvidos não permitem prover facilmente serviços de rastreabilidade na cadeia de fornecimento. Para os vários setores da cadeia de fornecimento, existem diferentes abordagens para a rastreabilidade dos itens. Como vimos anteriormente, a informação necessária para rastrear o produto depende do setor da cadeia de fornecimento e tipo de produto. O setor produção, transporte, armazém e pontos de venda são setores com diferentes propósitos na cadeia de fornecimento e por isso necessitam de diferentes tipos de informação a ser identificada no produto.

É neste contexto que surge a contribuição do autor para a implementação de um sistema integrador que permita a utilização de diferentes serviços de rastreabilidade necessários aos diferentes setores da cadeia de fornecimento, de forma simples e flexível.

A tecnologia código de barras apresenta uma boa normalização e aceitação global. Contudo, como vimos anteriormente, as características da tecnologia código de barras impossibilitam, na maior parte dos casos, a sua adoção na instalação fabril.

Por outro lado, a tecnologia RFID possui boas características para a implementação de sistemas de rastreabilidade mas falha na partilha de dados na cadeia de fornecimento. Relembrando o funcionamento da arquitetura EPCglobal, a integração dos sistemas internos da empresas era fornecida pelo *Middleware*. O *EPCIS* e os *Discovery Services* representavam os serviços necessários para a rastreabilidade na cadeia de fornecimento. Contudo, o EPCglobal ainda não constitui a resposta final à implementação dos sistemas de rastreabilidade baseados em RFID.

A codificação EPC é limitativa em termos de informação (codificação da informação em apenas 12 bytes) e não apresenta uma estrutura abrangente para a implementação de diferentes serviços de rastreabilidade necessários na cadeia de fornecimento. Independentemente do esquema de identificação utilizado⁴, o EPC define apenas um número de série único para cada produto, pelo que a memória existente numa etiqueta RFID não é aproveitada para a adição de novos serviços de rastreabilidade e adição de dados referentes à característica do item (peso, volume, data de validade, data de expedição, etc).

A aceitação e adoção dos sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia RFID passa por uma implementação mais simplificada da informação na etiquetas RFID, fazendo o uso da sua memória de dados para a alocação dos diferentes serviços de rastreabilidade.

Relembrando o estudo da codificação GS1-128 da subsecção 3.1.3 da página 32, não obstante o facto da codificação GS1-128 apresentar um baixo armazenamento de dados (apenas 48 caracteres alfa-numéricos) e as limitações inerentes à tecnologia de código de barras, possui uma característica muito interessante que não é explorada na codificação EPC: a agregação de dados num único código de barras através dos *Application Identifiers*. Relembrando a subsecção 2.6 (página 22), o GS1-128 é tão abrangente que é

⁴A normalização do EPC define várias estruturas para a identificação dos itens. Contudo, as estruturas são demasiado fechadas, contendo apenas a definição de um número de série único. São exemplos desses casos a implementação do EPC no SGTIN (*Serialized Global Trade Item Number*), SSCC (*Serial Shipping Container Code*), SGLN (*Global Location Number With or Without Extension*), GRAI (*Global Returnable Asset Identifier*), entre outros esquemas definidas pelo protocolo EPC.

utilizado em praticamente em toda a cadeia de fornecimento, com exceção dos Pontos de Venda.

O decorrer dos estudos efetuados pelo autor apontam para que o RFID seja a tecnologia de suporte a adotar para o futuro da gestão da cadeia de fornecimento. No entanto, persiste um problema: não existe um modelo que permita facilmente prover os serviços de rastreabilidade através desta tecnologia. A solução proposta pelo autor para a implementação do sistema de rastreabilidade passa pela utilização da tecnologia RFID em conjunto com uma estrutura de dados similar à codificação GS1-128 (solução híbrida).

Através dos *Application Identifiers*, a etiqueta RFID pode conter vários serviços de rastreabilidade, incluindo o número de série (tal como é definido na codificação EPC).

A tabela 5.1 demonstra a estrutura de dados da etiqueta RFID proposta pelo autor. O autor optou pelo desenvolvimento do sistema através de etiquetas MIFARE passivas HF com memória de dados (leitura e escrita) de 1 kByte. A memória da etiqueta encontra-se dividida em 64 blocos de 16 bytes. Este tipo de etiquetas já apresenta um identificador único (*unique ID*) de 4 bytes⁵ que será usado para a identificação dos dados internos na etiqueta.

A implementação do sistema de rastreabilidade passa pela divisão de dois tipos de dados na etiqueta RFID:

- Dados relativos aos serviços de rastreabilidade - localizados nos primeiros 500 bytes da memória da etiqueta RFID;
- Dados relativos aos serviços de parametrização - localizados nos seguintes 500 bytes da memória da etiqueta RFID para a parametrização de operações industriais na instalação fabril.

⁵Devido ao aumento de mercado da tecnologia RFID, a *NXP Semiconductors* vai aumentar o número de identificação de 4 para 7 bytes para garantir a identificação única das *tags*.

Bloco	Tipo (Rastreabilidade)	Dados	Bloco	Tipo (Parametrização)	Dados
0	SSCC	(00)357123947323374563	32	Atuação digital externa	PLC 1 1 ON
2	GTIN	(01)58238500764335	34	Atuação digital interna	RELE 1 ON
4	Nº Contentores	(10)23495639530014930534	36	Atuação analógica interna	DAC I 15.80 00
6	Nº Batch	(10)23495639530014930534	38		
8	Data de Produção	(11)120513	40		
10	Data Empacotamento	(13)120530	42		
12	Data de Venda	(15)120622	44		
14	Data de Validade	(17)130530	46		
16	Nº de Série	(21)28495935773091200231	48		
18	HIBCC	(22)	50		
20	Nº do Lote	(23x)	52		
22	GSIN	(402)	54		
24	GRAI	(8003)	56		
26	GIAI	(8004)	58		
28	GSRN	(8018)	60		
30	Informações adicionais	peso,volume	62		

Tabela 5.1: Estrutura de dados da etiqueta RFID.

Para a comunicação dos vários nodos de identificação automática, a solução passa por uma versão acrescentada do protocolo industrial *Modbus* ao qual será denominado de *Modbus enhanced*. O capítulo 4.2 da página 66 abordou a estrutura do protocolo *Modbus* e a sua capacidade de permitir a utilização de funções definidas pelo utilizador.

O uso do *Modbus enhanced* irá permitir a integração das tecnologias de identificação automática (tecnologia RFID) na infraestrutura da instalação fabril. O sistema central pode, através do *Modbus enhanced*, comunicar facilmente com as tecnologias de identificação (RFID). A tabela 5.2 representa a versão acrescentada do *Modbus* para prover a comunicação entre a central e os serviços de rastreabilidade efetuados pelas tecnologias de identificação. De notar que as funções “69” e “70” são as funções que vão permitir o envio dos vários serviços de rastreabilidade existentes na codificação GS1-128.

Função	Descrição	Origem	Destino
65	Pedido de dados	Central	Nodos RFID
66	Atuação analógica local	Nodos RFID	Central
67	Atuação digital local	Nodos RFID	Central
68	Atuação digital externa	Nodos RFID	Central
69	Serviços de rastreabilidade (GS1-128)	Central	Nodos RFID
70	Serviços de rastreabilidade (GS1-128)	Nodos RFID	Central

Tabela 5.2: Funções definidas pelo utilizador.

A tabela 5.3 apresenta um exemplo da mensagem *Modbus enhanced* para o envio dos serviços de rastreabilidade por parte da central ou nodos RFID. O primeiro campo define o endereço do nodo RFID (neste caso, o endereço 1). O segundo campo define a função usada para a agregação dos serviços de rastreabilidade. No caso do nodo RFID efetuar a leitura de dados da *tag* e posteriormente enviar a informação para a Central de Processamento de Dados, a função a enviar será a “70”. Seguidamente é enviado o número de identificação único (*unique ID*) da etiqueta, composto por 4 bytes. Posteriormente são enviados a agregação dos vários serviços de rastreabilidade incluídos no cartão (tabela 5.3).

As funções “66” a “68” representam as mensagens de parametrização para a otimização das linhas de produção através das etiquetas RFID (tabela 5.4).

Endereço	Função	ID(4)	AI+Dados	AI+Dados	CRC(2)
1	69/70	1 2 3 4	(11) 1 2 1 0 0 1	(13) 1 2 1 0 1 6	CRC16

Tabela 5.3: Trama *Modbus enhanced* para os serviços de rastreabilidade.

Endereço	Função	ID(4)	Dados	CRC(2)
1	66 a 68	1 2 3 4	Dados da parametrização	CRC16

Tabela 5.4: Trama *Modbus enhanced* para os serviços de parametrização.

Capítulo 6

Implementação do sistema integrador

O presente capítulo pretende evidenciar ao leitor a arquitetura do sistema através de uma abordagem *top-down*. O esquema geral do sistema integrador foi apresentado na capítulo anterior. Segue-se a apresentação de cada subsistema.

O equipamento integrador é constituído por:

- **Módulo Central de Processamento de Dados** - Para o controlo e monitorização de operações industriais baseado numa arquitetura centralizada. Este é o bloco principal do sistema integrador. Este módulo abrange a “Central de Processamento de Dados”, “Interface de Atuação Analógica”, “Serviços GSM”, “Serviços TCP/IP” e fornece a comunicação dos equipamentos externos através da implementação do *Modbus enhanced* RS-485. A figura 6.1 e tabela 6.1 apresentam a descrição geral dos blocos mais relevantes do módulo Central de Processamento de Dados¹;
- **Módulos externos** - Os módulos externos dizem respeito aos equipamentos que comunicam com o módulo Central de Processamento de Dados através do protocolo *Modbus enhanced*. Estes módulos representam os blocos: “Equipamentos de Identificação Automática”, “Equipamentos Industriais” e “HMI”.

¹De notar que os serviços TCP/IP e GSM são fornecidos internamente no sub-sistema número 1.

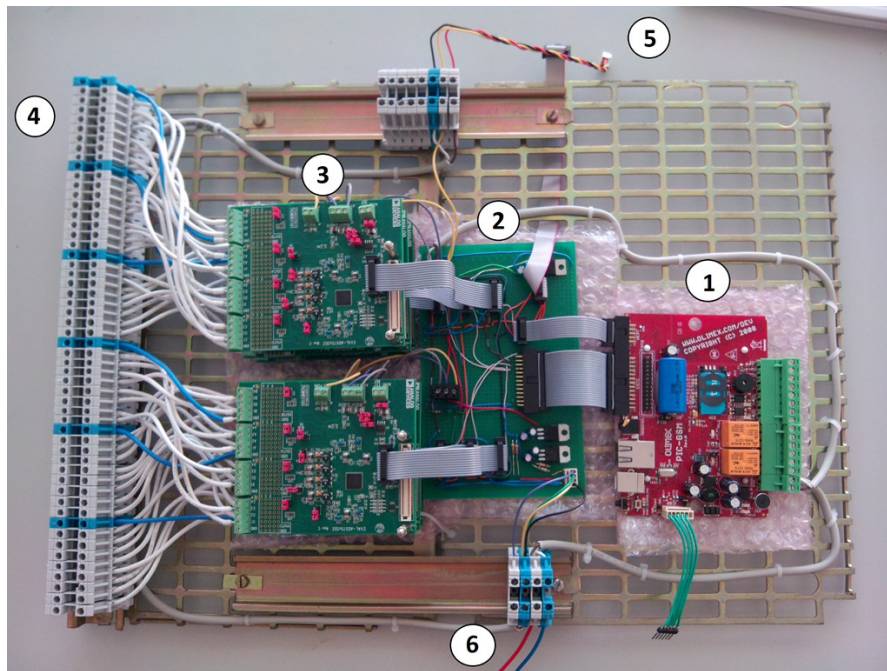


Figura 6.1: Ilustração do módulo Central de Processamento de Dados.

Sub-sistema	Descrição
1	Central de Processamento de Dados (μC)
2	Interface de Atuação Analógica
3	Seis módulos analógicos (DAC)
4	Saídas analógicas em corrente/tensão para 24 canais
5	Interface <i>Modbus</i> para interligação com módulos externos
6	Alimentação do sistema integrador (12 Volt)

Tabela 6.1: Descrição da composição do módulo Central de Processamento de Dados.

Seguidamente serão abordados neste relatório a implementação dos vários sub-sistemas representantes do sistema integrador. O presente capítulo é composto por duas secções. A secção 6.1 apresenta a conceção dos diferentes sub-sistemas anteriormente ilustrados na figura 6.1 e tabela 6.1 (representativos do Módulo Central de Processamento de Dados).

A secção 6.2 contém informações relativas aos Módulos externos: implementação dos nodos de identificação automática, HMI e interface com os equipamentos industriais inseridos no ambiente industrial.

6.1 Módulo Central de Processamento de Dados

6.1.1 Central de Processamento de Dados

A Central de Processamento de Dados constitui o cérebro de operações de todo o sistema integrador. Através de uma arquitetura centralizada, este sub-sistema deve dar resposta aos seguintes objetivos:

- Gestão da rede industrial (incluindo os nodos RFID) através do protocolo *Modbus enhanced*;
- Controlo de sub-sistemas externos² para interligação a outros equipamentos;
- Incorporar um sistema de gestão e controlo de alertas através de serviços GSM;
- Prover a monitorização e controlo do estado fabril (variáveis, processos, etc) através de serviços Web (TCP/IP);
- Garantir a integração e compatibilidade de todos os equipamentos presentes na linha, prover serviços de rastreabilidade e parametrização de operações industriais.

Características da Central de Processamento de dados

O cumprimento dos objetivos acima descritos exige a escolha do μC a utilizar para a conceção do sistema integrador. A *Microchip Technology Inc.* apresenta soluções interessantes. A escolha do microcontrolador incidiu no PIC18F97J60. Este apresenta uma arquitetura 8 bits que e integração do sistema *Ethernet* no próprio microcontrolador. Seguem-se algumas características do microcontrolador em questão:

- Compatibilidade com IEE 802.3 Ethernet;
- Endereço MAC integrado com buffer TX/RX de 8 Kbytes;
- Suporte físico para 10Base-T (10 Mbps);
- Frequência externa até 41.667 Mhz e 31 kHz de Oscilador interno;
- Dois níveis de prioridade;
- Duas USARTS (suporte para RS-232, RS-485, LIN 1.2);
- Dezasseis canais de entrada analógicos (10 bits de resolução);
- Cinco timmers, quatro interrupções externas, dois módulos PWM, etc.

A utilização deste tipo de microcontrolador tem necessariamente que estar integrado numa placa de circuito impresso (PCB) para facilitar a sua utilização e integração com outras tecnologias. Um estudo de mercado efetuado pelo autor relativo às soluções integradas em placas de desenvolvimento (embedded systems) revelou o PIC-GSM, cortesia da Olimex, como sendo sistema embutido mais atrativo para a implementação da solução. A placa de desenvolvimento PIC-GSM já possui o suporte de *hardware* necessário

²Neste caso o controlo da Interface de Atuação Analógica.

para a integração dos serviços TCP/IP e GSM. O preço da placa de desenvolvimento ronda aproximadamente os 90 euros, um preço justo a pagar com vista a direcionar os esforços do autor na implementação do sistema operativo da máquina integradora.

A figura 6.2 e tabela 6.2 apresentam uma breve descrição dos principais componentes da placa de desenvolvimento utilizada.

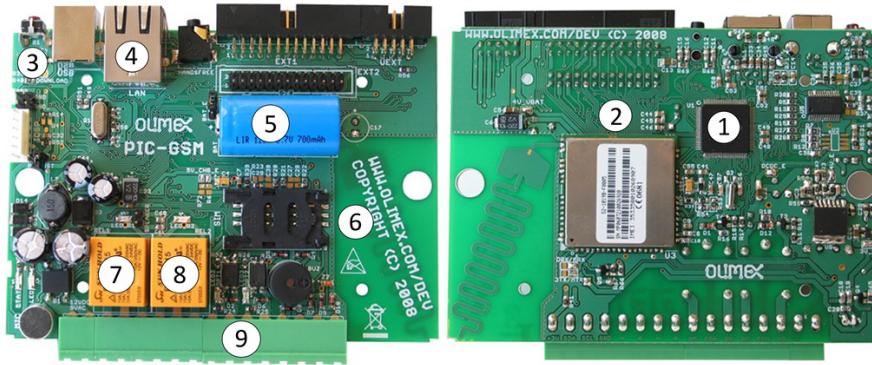


Figura 6.2: Placa de desenvolvimento PIC-GSM.

Item	Descrição
1	Microcontrolador PIC18F97J60
2	Módulo GSM (<i>SIM300D</i>)
3	Botão B1 e porta USB.
4	Porta <i>Ethernet</i> (serviços Web)
5	Bateria 3.7 Volt, 700 mAh
6	Cartão SIM
7	Atuação relé (RELE 1)
8	Atuação relé (RELE 2)
9	Entradas com optoisolamento (OPTO 1 e OPTO2)

Tabela 6.2: Descrição dos principais componentes do PIC-GSM.

6.1.2 Serviços GSM

A placa de desenvolvimento PIC GSM apresenta o hardware necessário para a integração de serviços GSM no módulo Central de Processamento de Dados. Ao ocorrer uma determinada operação/anomalia do sistema para a qual haja a necessidade de alertar o encarregado de produção, o microcontrolador terá como missão enviar uma mensagem de texto (SMS) com a informação relativa ao alerta. O modem disponível na placa de desenvolvimento é denominado *SIM300D*. O modem utilizado contém um conjunto de comandos AT para a comunicação com o equipamento que podem ser efetuados através de uma interface RS-232.

A figura 6.3 apresenta o diagrama de interações entre a Central de Processamento de Dados (PIC18F97J60) e módulo GSM (*SIM300D*) através da comunicação RS-232 efetuada pela USART1.

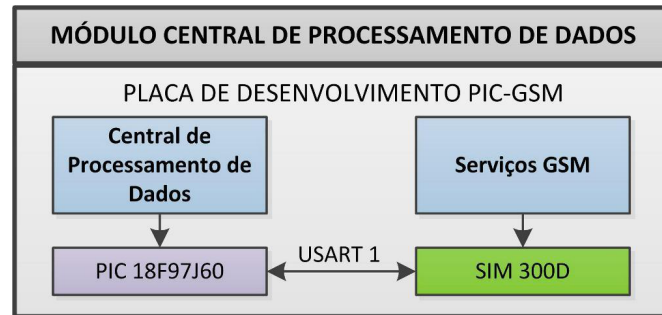


Figura 6.3: Diagrama de interações dos serviços GSM.

O manual do modem *SIM300D*[18] apresenta a descrição detalhada da lista de comandos AT disponíveis. Os comandos que mais se destacam para o controlo do módulo *GSM* são apresentados na tabela 6.3.

Comando	Especificação
AT+CMGF	Seleciona o formato da SMS (modo PDU ou texto).
AT+CMGDA="DEL ALL"	Apaga todas as SMS do <i>buffer</i> .
AT+CPIN="1234"	Entrada do PIN com a palavra-chave 1234.
AT+CMGR=1	Leitura da mensagem na posição 1 do <i>buffer</i> .
AT+CMGS="9XXXXXXXXX"	Prepara o envio da SMS para o número 9XXXXXXXXX.

Tabela 6.3: Lista dos principais comandos AT.

A figura 6.4 apresenta o envio e resposta do comando "AT"+CR do microcontrolador para o módulo *GSM*. O envio deste comando é sucedido da respetiva resposta por parte do *modem* SIM300D.

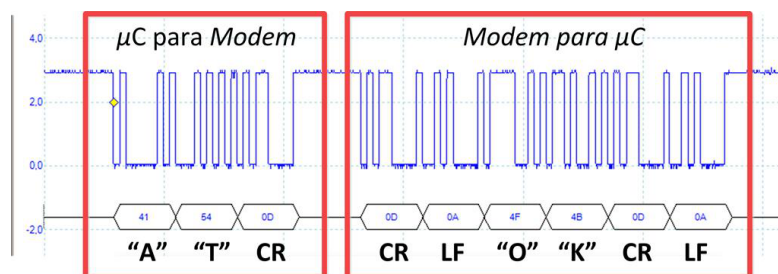


Figura 6.4: Envio e resposta do comando AT entre o μ C e *Modem*.

Para o funcionamento do módulo GSM, é necessário efetuar a inicialização de *hardware* seguido de uma inicialização por *software* através da troca de mensagens entre os dois sistemas em estudo. Deve ser efetuada a seguinte inicialização por hardware:

- Desligar por completo a alimentação da placa de desenvolvimento (alimentação externa e abertura da ligação **BAT-E**);
- Efetuar o *reset* do microcontrolador através da abertura do **PIC-RST**;
- Certificar que o cartão SIM não apresenta o código PIN ativo e de seguida colocar no suporte SIM;
- Ligar a alimentação do PIC-GSM seguido da habilitação da bateria através do fecho do **BAT-E**;
- Pressionar o botão **PWRKEY** até ao led **STATUS** piscar;
- Esperar um momento até que o led **STATUS** pisque com um período de 3 segundos³;
- Efetuar a abertura do **PIC-RST** para a inicialização do sistema operativo do microcontrolador.

Após os passos acima descritos para a inicialização do *hardware*, o modem está neste momento apto para comunicar diretamente com o microcontrolador. No entanto, são ainda necessárias algumas configurações por software de forma a garantir o correto funcionamento entre os dois dispositivos. A figura 6.5 apresenta a inicialização implementada pelo autor para a parametrização do módulo GSM. A partir do momento em que a inicialização por *software* é garantida, o módulo GSM passa a estar ativo, podendo a partir desse momento enviar e receber SMS.

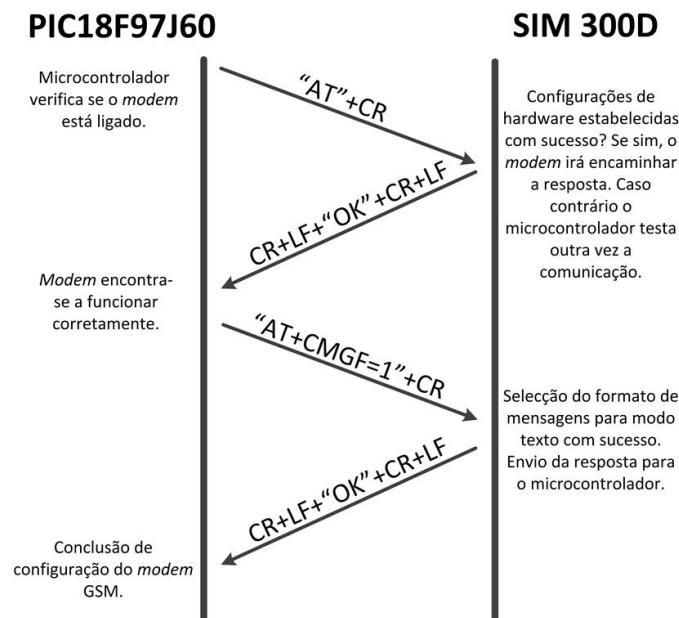


Figura 6.5: Inicialização dos serviços GSM por *software*.

³Necessário para o estabelecimento de rede por parte do modem.

As imagens 6.6 e 6.7 ilustram a troca de mensagens implementada para o funcionamento dos serviços GSM através da Central de Processamento de Dados (microcontrolador PIC18F97J60). A imagem 6.6 apresenta o diagrama de interações entre o microcontrolador e *modem* GSM para o envio de um alerta SMS. O procedimento de envio da SMS é efetuado pelo microcontrolador.

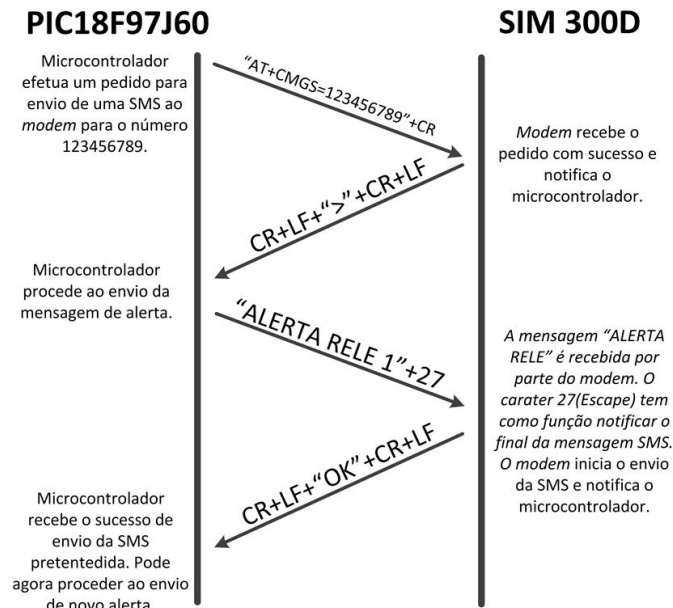


Figura 6.6: Diagrama de interações para o envio de um alerta SMS.

A imagem 6.7 apresenta o diagrama de interações dos serviços GSM aquando da receção de uma mensagem SMS do *modem*. O *modem* gere um *buffer* para a alocação das mensagens recebidas. Sempre que é recebida uma nova SMS, o *modem* envia uma notificação da receção da mensagem e número do *buffer* onde se encontra alocada. De seguida o microcontrolador envia um pedido de envio do conteúdo da SMS presente no respetivo *buffer*. De seguida o *modem* trata de enviar a SMS para o microcontrolador onde será posteriormente analisado o seu conteúdo e, se necessário o controlo de algum processo do sistema.

As mensagens recebidas continuam indefinidamente no *buffer* do módulo GSM até que seja enviado um comando para a respetiva eliminação. Esta última parte inicia-se com o envio do comando de eliminação de mensagens por parte do microcontrolador⁴. O *modem* efetua a eliminação das mensagens seguido da respetiva notificação ao microcontrolador.

⁴O comando "AT+CMGD=1" também pode ser utilizado. Este apenas elimina a mensagem alocada no buffer 1. Neste caso concreto, o funcionamento dos serviços GSM é garantido com a eliminação de todas as mensagens presentes no buffer como medida de prevenção de possíveis erros. Cada mensagem é tratada, processada e posteriormente eliminada dos serviços GSM.

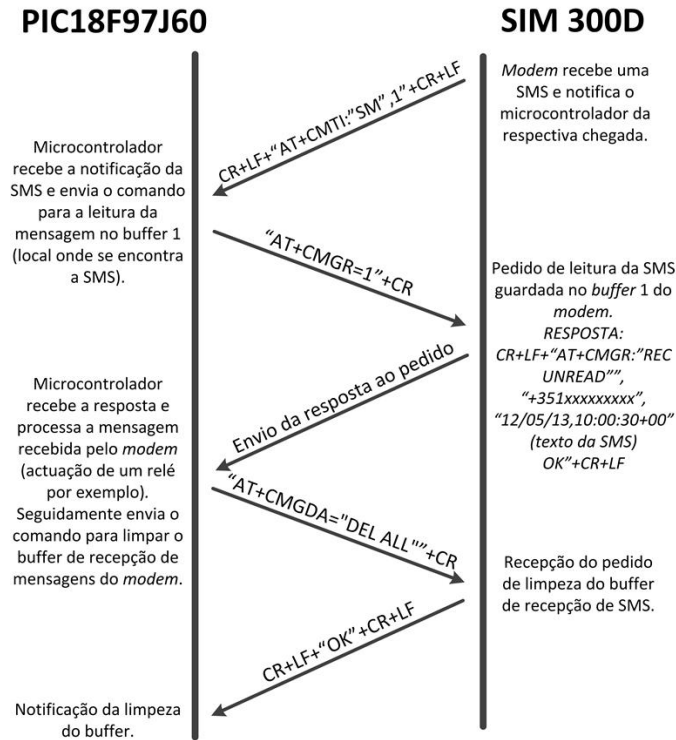


Figura 6.7: Diagrama de interações para a recepção de um pedido através de SMS.

A tabela 6.4 apresenta os principais alertas implementados pelos serviços GSM e a respetiva mensagem de alerta. O alerta digital é efetuado aquando da mudança para o estado "ON" de um dos relés da Central de Processamento de Dados (RELÉ 1 e RELÉ 2 ilustrados na tabela 6.2). A implementação dos alertas da interface analógica identificam o módulo, canal e tipo de saída onde ocorreu a anomalia. As 24 saídas analógicas disponíveis estão integradas num sistema em seis módulos, ou seja, o alerta identifica o módulo através de um número entre "0" e "5" (ex: B=1 indica que o erro ocorreu no módulo 1). Cada módulo apresenta quatro canais com saída em corrente ou tensão. A mensagem SMS de notificação ao encarregado de produção identifica o canal entre "0" e "3" (ex: C=3 indica que o erro ocorreu no canal 3). O alerta da interface analógica está programado para aceder aos serviços GSM sempre que for efetuado a atuação de um valor analógico máximo (10 Volt em tensão ou 20 mA em corrente). O tipo de saída também aparece na notificação da SMS. No caso de ser um alerta com saída em corrente a mensagem será notificada como "DAC I". Para a notificação de alerta em tensão a mensagem é enviada em formato "DAC V".

Os serviços GSM permitem a notificação de operações externas ao módulo central. No caso da ativação da saída de um autómato, o alerta é enviado com a respetiva identificação do equipamento (ID=1 representa o equipamento com identificação na rede *Modbus*) e número do canal (CH=0 representa a saída do Relé número 0 do autómato).

Tipo de Alerta	Especificação
Alerta digital (Central)	“RELE 1 ON”
Alerta Interface Analógica	“DAC I B=0 C=0 ALERT”
Alerta externo	“PLC ID=1 CH=0 ON”
Alerta Botão B1 (Central)	“B1 PRESSIONADO”

Tabela 6.4: Lista dos alertas SMS implementados no sistema.

6.1.3 Serviços Web

Os serviços Web são fornecidos internamente no microcontrolador utilizado. A figura 6.8 ilustra o diagrama de interações entre os sub-sistemas. A Microchip dispõe de uma biblioteca (stack TCP/IP) para a integração de serviços Web em conjunto com o sistema operativo implementado. O sistema integrador irá fazer uso dessa biblioteca de uso livre para a implementação dos seguintes serviços Web:

- Fornecer através da implementação de uma página Web, a monitorização e controlo *real-time* das linhas de produção da instalação fabril;
- Fornecer informação dos serviços de rastreabilidade para um base de dados MySQL presente num computador pessoal, através de uma ligação de dados TCP/IP.

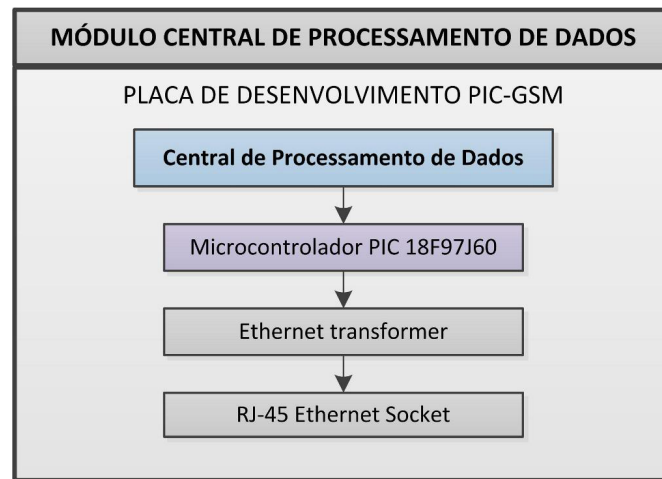


Figura 6.8: Esquema de interações dos serviços TCP/IP disponibilizados.

Caraterísticas dos serviços Web

O stack TCP/IP implementado no microprocessador foi configurado com as seguintes características:

- Web server (porta 80);
- Protocolo TCP ativo;

- DHCP modo cliente⁵;
- ICMP cliente e servidor⁶;
- Serviço de nomes Netbios⁷;
- Host Name: JC;
- Endereço IP: 193.137.172.22;
- Endereço MAC: 00 14 A3 60 00 00;
- *Subnet Mask*: 255.255.255.0.

Modos de utilização dos serviços Web

O sistema integrador permite a utilização dos serviços Web de duas maneiras:

- Ligação local diretamente a um computador pessoal (figura 6.9);
- Ligação remota através de um equipamento de rede (figura 6.10);

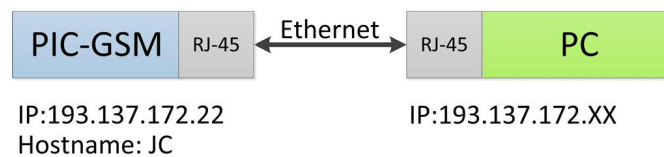


Figura 6.9: Ligação local aos serviços Web.

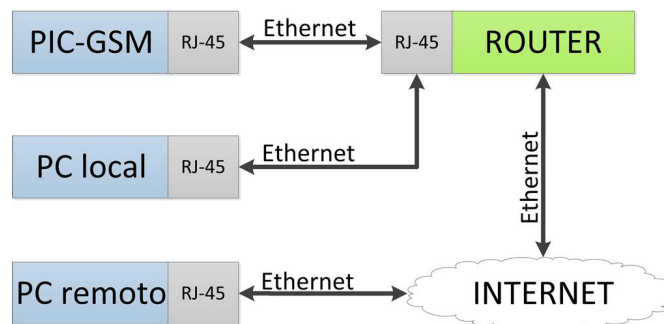


Figura 6.10: Ligação remota aos serviços Web.

A ligação local diretamente implica a mudança de endereço IP do computador pessoal para a mesma gama de endereço do sistema integrador. A ligação remota implica o uso de um equipamento de rede (por exemplo um router). Para o acesso remoto, o equipamento de rede terá que atribuir o uso de um IP público ao sistema integrador para efetuar o

⁵Permite que o módulo adquira um novo IP quando da ligação de equipamentos DHCP Server (routers por exemplo).

⁶Para envio e resposta de *pings*.

⁷Protocolo da biblioteca TCP que permite o uso domínios. Apresenta-se como alternativa ao DNS.

acesso externo ao servidor Web. O router é um equipamento DHCP server pelo que atribui o endereço IP ao sistema integrador (DHCP cliente) de forma automática. Nas configurações do equipamento de rede, o utilizador terá que atribuir um endereço público para acesso externo ao sistema.

Implementação dos Serviços Web: Monitorização e controlo da Central de Processamento de Dados

A implementação dos serviços Web foi estabelecida com a criação de um Web server incluído internamente no microcontrolador. Foram utilizadas as ferramentas *javascript* e comandos *ajax* para a implementação em tempo real dos vários estados do sistema integrador. A imagem 6.11 apresenta a página principal que permite a monitorização e controlo em tempo real dos diferentes estados disponíveis pela Central de Processamento de Dados (PIC-GSM). A tabela 6.5 apresenta os principais processos de monitorização *real time* implementados pelo autor. A implementação destes serviços Web teve por base a monitorização e controlo das principais funcionalidades disponíveis para a interface com o meio físico (dois relés, duas entradas opto-isoladas, um botão de pressão e uma saída analógica), presentes na placa de desenvolvimento PIC-GSM.

Sistema de integração industrial auxiliado por tecnologias de identificação automática (RFID)

Monitorização

Monitorização Web Server

Bem vindo ao web browser de monitorização e controlo da central de dados. O web browser está inserido num microcontrolador (PIC18F97J60) que controla a central de operações industriais. À direita poderá visualizar algumas dos periféricos do microcontrolador em questão. Destaque para a visualização dos dois relés inseridos na placa de desenvolvimento Olimex PIC-GSM. O controlo dos relés também é possível dentro da página Web.

O **ESTADO PIC** alterna a sua visualização em cada 500 milisegundos para demonstrar o funcionamento da página Web.

O **BOTÃO B1** efectua a sua actualização quando pressionado pelo utilizador.

O **OPTOCOUPLER 1** e **OPTOCOUPLER 2** efectuem a monitorização do estado das entradas digitais da placa de desenvolvimento **OPTO 1** e **OPTO 2**.

O **POTENCIOMETRO** apresenta o valor analógico de entrada do microcontrolador (valor entre 0 e 1023).

ESTADO PIC: 2

RELE 1: 3

RELE 2: 4

OPTOCOUPLER 1: 5

OPTOCOUPLER 2: 6

BOTÃO B1: Pressionado 7

POTENCIOMETRO: 961 8

Figura 6.11: Página inicial do Servidor Web.

Item	Descrição
1	Menu Monitorização
2	Monitorização do funcionamento da Central
3	Monitorização e controlo do estado “RELE 1”
4	Monitorização e controlo do estado “RELE 2”
5	Monitorização do estado da entrada “OPTO 1”
6	Monitorização do estado da entrada “OPTO 2”
7	Monitorização da estado do botão “B1”
8	Monitorização da entrada analógica “AN0”

Tabela 6.5: Descrição dos serviços TCP/IP no módulo Central.

Implementação dos Serviços Web: Monitorização da Interface de Atuações Analógica

Os serviços Web garantem a monitorização dos 24 canais com saída em corrente ou tensão. A figura 6.12 ilustra a implementação dos serviços Web para monitorização da interface de Atuações Analógicas. A tabela 6.6 apresenta a descrição da monitorização implementada pelo autor.

Monitorização	Monitorização das saídas analógicas (DAC)	
Saídas analógicas	MODULO 0	MODULO 1
Vídeos	Canal 0: 849 mA	Canal 0: 0 mA
Descrição	Canal 1: 1849 mA (10)	Canal 1: 999 mA (11)
Considerações	Canal 2: 700 mA	Canal 2: 0 mA
	Canal 3: 165 mA	Canal 3: 0 mA
	MODULO 2	MODULO 3
	Canal 0: 0 mA	Canal 0: 0 mA
	Canal 1: 0 mA (12)	Canal 1: 999 mA (13)
	Canal 2: 0 mA	Canal 2: 0 mA
	Canal 3: 0 mA	Canal 3: 0 mA
	MODULO 4	MODULO 5
	Canal 0: 0 mA	Canal 0: 0 mA
	Canal 1: 0 mA (14)	Canal 1: 0 mA (15)
	Canal 2: 999 mA	Canal 2: 0 mA
	Canal 3: 2000 mA	Canal 3: 0 mA

Figura 6.12: Monitorização em *real time* da Interface de Atuação Analógica.

Item	Descrição
9	Menu Saídas Analógicas
10	Monitorização do módulo 0 da Interface de Atuação Analógica
11	Monitorização do módulo 1 da Interface de Atuação Analógica
12	Monitorização do módulo 2 da Interface de Atuação Analógica
13	Monitorização do módulo 3 da Interface de Atuação Analógica
14	Monitorização do módulo 4 da Interface de Atuação Analógica
15	Monitorização do módulo 5 da Interface de Atuação Analógica

Tabela 6.6: Descrição dos serviços TCP/IP para a Interface de Atuações Analógicas.

Implementação dos Serviços Web: Serviços de rastreabilidade

Anteriormente foram abordados os diferentes setores da cadeia de fornecimento (Produção, Distribuição, Transporte, Ponto de venda). A otimização da cadeia de fornecimento passa pela implementação de mecanismos que possibilitem a partilha de dados na cadeia de fornecimento de forma simples e transparente. A implementação de uma base de dados remota irá permitir a partilha de dados referentes aos serviços de rastreabilidade propostos pelo autor nos diferentes setores da cadeia de fornecimento (figura 6.13).

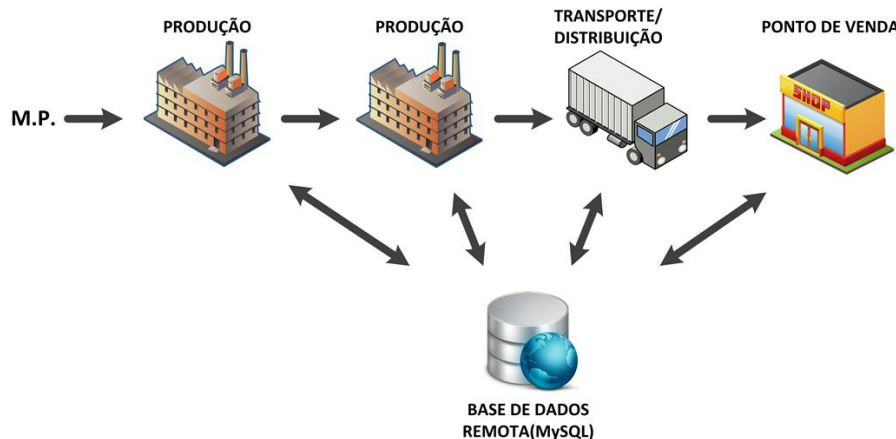


Figura 6.13: Partilha de dados na cadeia de fornecimento.

Cada item é identificado através do seu *unique ID* (4 Bytes). A implementação da base de dados segue a estrutura definida pela subsecção 5.4 (página 91). A entrada, saída ou processamento de um determinado produto num setor implica a atualização do seu “Estado”. Para cada item, a base de dados define uma coluna dados relativa ao estado do produto. Esta coluna define a localização do setor onde o item se encontra (produção, transporte/distribuição, ponto de venda). Dentro do setor interno, o item pode apresentar três tipos de estados: “Entrada”, “Processamento” ou “Saída”. A figura 6.14 ilustra o funcionamento da atualização da coluna “Estado” da base de dados remota.

O sistema de partilha de dados na cadeia de fornecimento proposto pelo autor foi

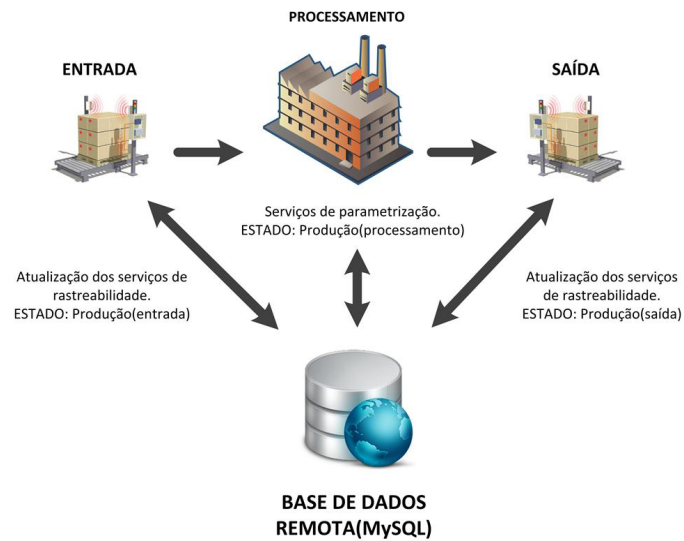


Figura 6.14: Estado do produto.

implementado com recurso ao MySQL Server. O MySQL é uma base de dados relacionada *freeware* que permite a gestão em múltiplas plataformas. O diagrama de interações entre a Central de Processamento de Dados e MySQL Server encontra-se representado na figura 6.15. A Central de Processamento de Dados envia, através de uma trama TCP/IP, os dados relativos aos serviços de rastreabilidade capturados pelos nodos RFID. A informação é recebida no computador remoto que corre o MySQL Server, que procede à atualização da informação. Através do MySQL Connector/Net, a aplicação VB acede remotamente à base de dados (nos diferentes setores da cadeia de fornecimento) efetuando a monitorização do banco de dados. A aplicação VB pode também atualizar os campos de dados, caso seja necessário.

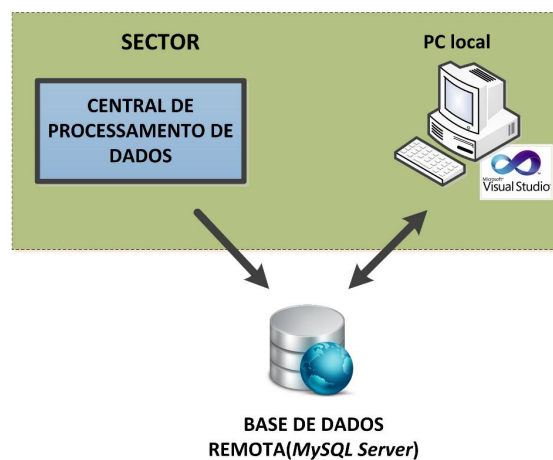


Figura 6.15: Diagrama de funcionamento dos serviços de rastreabilidade.

Implementação dos Serviços Web: Aplicação VB

A figura 6.16 ilustra a criação da tabela “*rastreabilidade*” para a base de dados remota.

```

mysql> describe rastreabilidade;
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field | Type | Null | Key | Default | Extra |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
| ID | int(20) unsigned | NO | PRI | NULL | |
| SSOC | varchar(10) | NO | | NULL | |
| GTIN | varchar(14) | NO | | NULL | |
| N_contenedores | varchar(14) | NO | | NULL | |
| N_batch | varchar(20) | NO | | NULL | |
| Data_producao | varchar(6) | NO | | NULL | |
| Data_apacotamento | varchar(6) | NO | | NULL | |
| Data_saida | varchar(6) | NO | | NULL | |
| Data_validade | varchar(6) | NO | | NULL | |
| N_serico | varchar(20) | NO | | NULL | |
| HIBCC | varchar(29) | NO | | NULL | |
| N_lote | varchar(19) | NO | | NULL | |
| CSIM | varchar(20) | NO | | NULL | |
| GRBI | varchar(30) | NO | | NULL | |
| GIRI | varchar(30) | NO | | NULL | |
| GSRM | varchar(30) | NO | | NULL | |
| Info_adicionais | varchar(30) | NO | | NULL | |
| estado | varchar(60) | YES | | NULL | |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+
10 rows in set (0.01 sec)
mysql>

```

Figura 6.16: Criação da tabela *rastreabilidade*.

A figura 6.17 ilustra o fluxograma de controlo da aplicação VB. A figura 6.18 ilustra a monitorização dos dados relativos aos serviços de rastreabilidade dos itens presentes na base de dados remota.

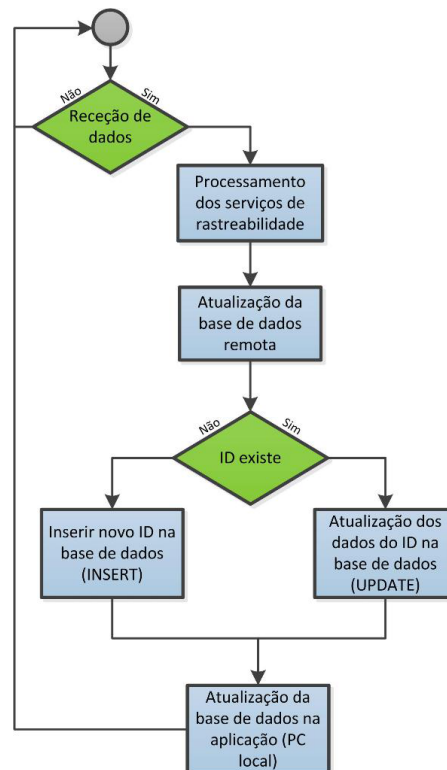


Figura 6.17: Fluxograma da aplicação VB.

ID	SSSC	GTIN	N°Contedores	N°Batch	Data_Producao	Data_embacotamento	Data_venda	Data_validade	N°Sêrie	HIBCC	N°Lot
0	6767	7699879	0	7657567	130512	240512	140812	140816	546665	54754	654
14	0	5476	4	3469767756	230110	230110	100310	070914	765789	18	20
332	12	5476	0	8565868	140111	181110	111010	290120	3254	4457	3345
12243	334	5476	10	234235	140111	181110	111010	290120	3456	43534	5546
24325	35443	5476	10	543564	140509	181109	111010	290120	4564	43565	5645
32423	24635	5476	0	45345	040407	140212	150507	040415	547647	54688	4534
1276980	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	23446	5685
1276981	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	93787	5685
1276982	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	76555	5685
1276983	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	21431	5685
1276984	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	54767	5685
1276985	47487	5476	0	3453	010410	070410	300710	010412	45737645	564765	5685
3423454356	4324234	5476	0	34534	010112	091012	111012	130520	345345	76675	4364

Figura 6.18: Monitorização da base de dados.

6.1.4 Interface de Atuações Analógicas

O sistema apresenta a implementação de uma comunicação *SPI* entre a Central de Processamento de Dados e seis módulos analógicos. Cada módulo dispõe quatro canais com saída analógica e podem ser controlados diretamente pelo microcontrolador. O esquema de ligações entre um módulo DAC e a Central de Processamento de Dados encontra-se representado na figura 6.19. A figura 6.20 ilustra o diagrama de interações entre o microcontrolador e interface analógica para os seis módulos analógicos. O sistema permite o controlo de saídas analógicas em tensão ou corrente. A saída em tensão poderá apresentar um valor entre os 0 Volt e os 10 Volt. A saída em corrente permite valores entre os 0 mA e os 20 mA.

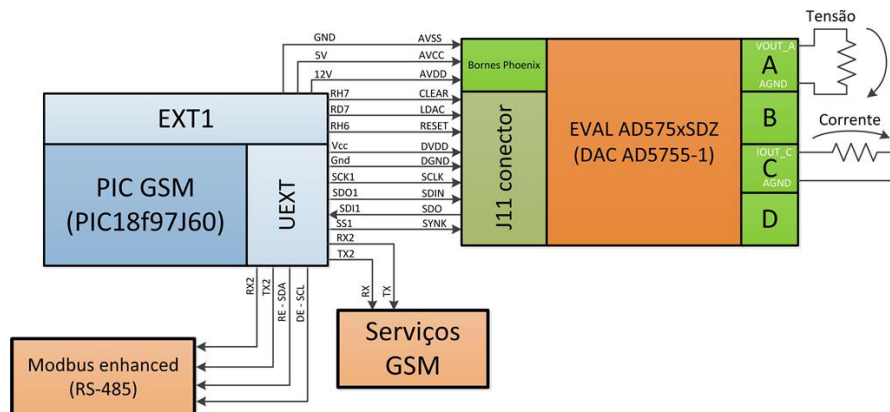


Figura 6.19: Diagrama de interações entre a Central e um módulo analógico.

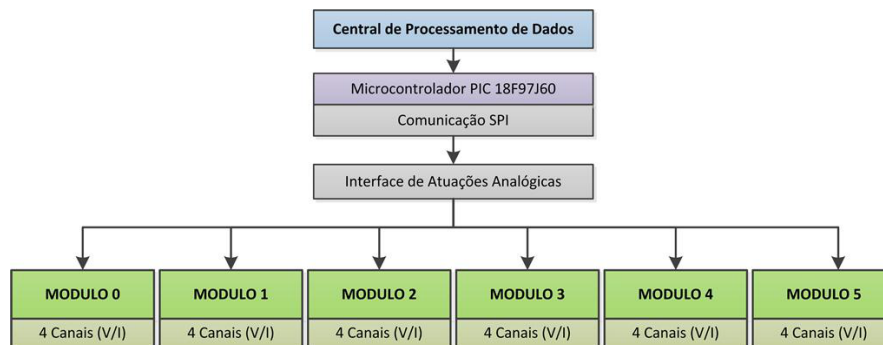


Figura 6.20: Diagrama de interações da Interface de Atuações Analógicas.

Implementação da Interface de Atuações Analógicas

O controlo dos seis módulos de atuação analógica através do microcontrolador necessitou da conceção de uma placa de circuito impresso. A figura 6.21 e tabela 6.7 apresentam a descrição da placa de interface analógica concebida pelo autor. O esquema eléctrico da interface de atuações analógicas pode ser consultado no anexo A2 da página 147.

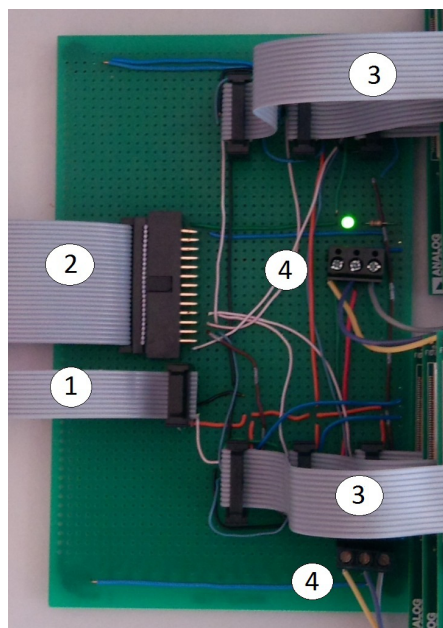


Figura 6.21: Placa de interface analógica.

Item	Descrição
1	Ligação UEXT (PIC-GSM)
2	Ligação EXT1 (PIC-GSM)
3	Ligação aos módulos DAC através do conector J11 (comunicação SPI)
4	Alimentação dos módulos DAC

Tabela 6.7: Descrição dos constituintes da placa interface de Atuações Analógicas.

Análise de onda do controlo de atuações analógico

As figuras 6.23, 6.22 e 6.24 representam a visualização do barramento SPI partilhado pelos seis módulos de atuação analógica. De notar que a figura 6.22 apresenta o pino de selecção SS (*Slave Select*). O barramento de dados SDO e relógio (SCK) são partilhados por todos módulos mas cada um apresenta um sinal SS independente para a sua selecção. O pedido de atuação é composto pelo envio de 15 bytes de dados. O anexo A2 da página 147 apresenta com maior detalhe a implementação efetuada para o controlo desse sub-sistema.

As figuras acima mencionadas revelam o período de envio de um pacote de dados (15 bytes) de aproximadamente $830\mu\text{S}$. O envio de um byte de dados através da comunicação SPI situa-se nos $20\mu\text{S}$ a uma taxa de transmissão de aproximadamente 400 kbps.

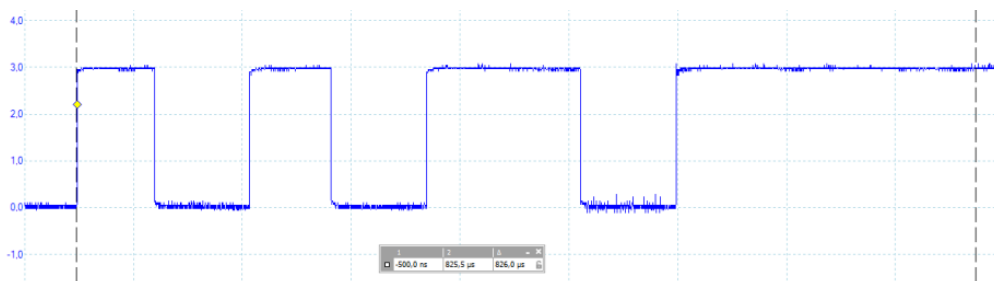


Figura 6.22: Visualização da linha de SS relativa à comunicação SPI.

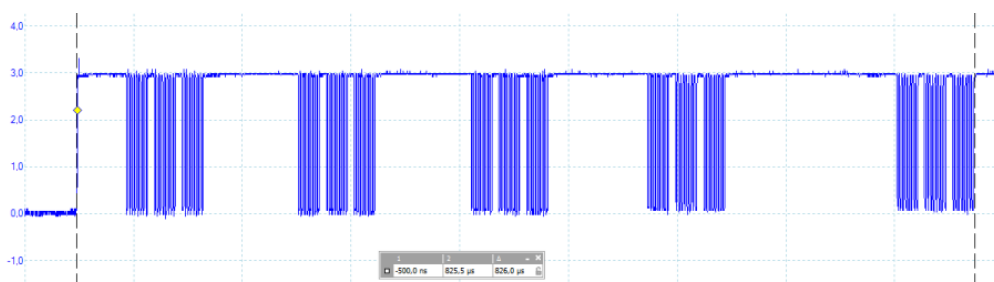


Figura 6.23: Visualização da linha de *clock* (SCK) relativa à comunicação SPI.

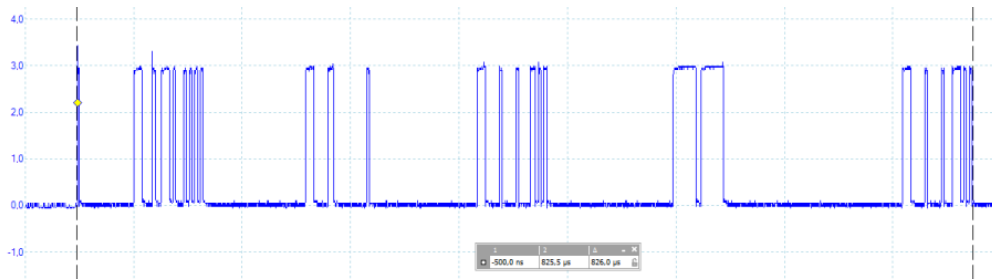


Figura 6.24: Visualização da linha de dados (SDO) relativa à comunicação SPI.

6.2 Módulos externos

Os módulos externos representam todos os equipamentos externos ao Módulo Central de Processamento de Dados. Através da arquitetura centralizada e de uma estrutura de mensagens *Modbus enhanced*, os equipamentos externos dão resposta aos pedidos efetuados pelo Módulo Central de Processamento de Dados.

6.2.1 Equipamentos de Identificação Automática

Os nodos de identificação automática têm como objetivo realizar as seguintes operações:

- Efetuar a identificação de uma determinada etiqueta presente na zona de interrogação;
- Proceder à leitura/escrita dos dados presentes nessa mesma etiqueta (dados relativos aos serviços de rastreabilidade ou parametrização das linhas de produção);
- No caso da leitura de dados, repassar a informação ao módulo Central de Processamento de Dados através de uso do *Modbus enhanced*.

As etiquetas podem conter informação relativa a decisões automáticas de produção, tendo em conta o controlo de processos industriais dos quais se destacam a assemblagem e parametrização de linhas de produção. Poderão também conter operações para a rastreabilidade dos respetivos produtos, ou seja, o envio de informação para a Central de Processamento de Dados relativos ao estado do produto e vice-versa.

Com isto, pretende-se que a integração destes nodos na rede industrial permita uma maior flexibilidade de operações, maior produtividade/rentabilidade industrial e redução de manipulação humana para recolha de dados.

A implementação dos equipamentos de Identificação Automática apresentam dois métodos de funcionamento:

- Sistema automático para leitura de dados;
- Sistema automático para escrita de dados.

No caso do sistema de leitura de dados, o módulo recolhe informação relativa à etiqueta presente na zona de interrogação do leitor RFID. A informação presente na etiqueta é lida de forma automática pelo equipamento de identificação automática. Internamente o equipamento verifica o formato das mensagens alocadas na etiqueta. Para o caso de ser necessário repassar a informação ao sistema central, o equipamento espera uma mensagem *request* efetuada pelo Módulo Central de Processamento de Dados, podendo automaticamente controlar o estado de operações de uma instalação fabril ou recolha de dados para a identificação de um determinado produto.

Estudo de mercado

Existe uma grande variedade de opções no que diz respeito à tecnologia RFID pelo que a seleção de um determinado equipamento exige um estudo primordial. Como foi dito anteriormente, esta tecnologia apresenta pouca maturidade ao nível da normalização, pelo que nenhuma segue uma implementação generalista. Os aspectos relativos à seleção de um sistema RFID são seguidamente apresentados:

- Normas e regulamentação;
- Frequência de operação;
- Alcance;
- Interfaces de comunicação disponíveis;
- Índices de proteção do equipamento (IP).

Soluções industriais

O mercado apresenta uma vasta variedade de soluções de identificação automática baseadas na tecnologia RFID. Destacam-se as soluções concebidas pelas *Skyetek* e *Siemens*.

A *Skyetek* é uma das empresas que apresenta uma boa diversidade de módulos industriais RFID. A figura 6.25 ilustra as diferentes especificações tendo em conta os aspectos acima abordados para diferentes aplicações.

A *Siemens* apresenta boas soluções industriais no que diz respeito à tecnologia RFID. As soluções disponíveis apresentam índices de proteção elevados (IP68 nalguns dos casos) e grande capacidade de memória de dados da *tag* (até 64 Kbytes). Os alcances suportados variam consoante o modelo, situando-se entre os 130 mm até uma distância de 8 metros. Alguns sistemas permitem a ligação directa a redes industriais das quais se destacam o *PROFIBUS*, *PROFINET* ou *Ethernet*. A figura 6.26 ilustra o módulo Simatic RF200 (apenas de leitura) com interface RS-422 e IO-Link.

Soluções comerciais - kits de desenvolvimento

As soluções comerciais apresentam um custo menor para a implementação da arquitetura conceptual. O problema que a dissertação pretende resolver será, nesta fase conceptual, implementado com uma solução comercial com vista à redução do custo final do produto. A *Sonmicro* apresenta disponível um *modem* RFID denominado *SM130*. O módulo em causa apresenta normalização ISO 14443 (estudada no sub-capítulo 4.1) e







	 DKM1 & DKM1-mini	 DKM2	 DKM4	 DKM7	 DKM9	 DKM10
Specifications						
Frequency (MHz)	13.56	13.56	13.56	862-955	862-955	862-955
Max RF Power (mW)	100	250	250	250	500	1000
Regulatory	Global	Global	Global	FCC	FCC, ETSI (22dB), China, Japan (outdoor)	FCC (ETSI, China pending)
Onboard Security		Proprietary, Stds-based	Proprietary, Stds-based			
Protocols	ISO 15693, 14443A	ISO 15693, 14443A/B (parts 1-4)	ISO 15693, 14443A/B (parts 1-3)	EPC C1G2; ISO 18000-6C	EPC C1G1, C1G2; ISO 18000-6C, 18000-6A&B	EPC C1G2; ISO 18000-6C
Size	25.4 mm (diameter)	66 x 36 x 5 mm	39 x 36 x 11.5 mm	53 x 36 x 9 mm	66 x 36 x 5 mm	
Effective Range	5.8 - 8.5 cm	3 - 16 cm	4.5 - 14 cm	up to 1.5 m	up to 3 m	
Host Connectivity	TTL, I2C, SPI	TTL, I2C, SPI, USB	TTL	TTL, I2C, SPI, USB	TTL, I2C, SPI, USB	TTL, I2C, SPI, USB
Connection Type	Solder holes	24-pin, 50-pin	24-pin	24-pin	24-pin, 50-pin	24-pin
External Antenna	X	X	X	X	X	X
Onboard Antenna	X	X	X			
MUX Support		X		X	X	X
Applications						
Inventory & Asset Management				X	X	X
Patron Management		X	X	X	X	X

Figura 6.25: Comparação dos kits Skyemodule.

frequência de operação 13.56 MHz. O módulo SM130 necessita do uso de um equipamento externo (neste caso irá ser controlado através de um microcontrolador) para o seu controlo. A figura 6.27 ilustra o kit de desenvolvimento RFID, constituído por:

- *Microcontrolador* (Arduino Uno) - Implementação do sistema operativo proposto pelo autor;
- *Modem RFID* (SM130) - Para a modulação/desmodulação de mensagens entre o microcontrolador (comunicação RS-232 ou I2C) e tecnologia RFID (definida pela ISO 14443 para este tipo de equipamento);
- *Antena RFID* (Sparkfun) - Para a comunicação entre a etiqueta e o *modem* RFID.



Figura 6.26: Módulo de leitura Siemens Simatic RD200 13.56 MHz.

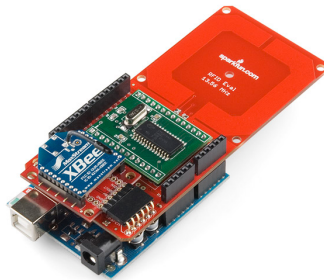


Figura 6.27: Kit de desenvolvimento RFID 13.56 MHz.

Conceção dos nodos de identificação automática

O esquema elétrico dos módulos de identificação implementados pelo autor podem ser analisados no anexo A3 da página 149.

A figura 6.28 ilustra diagrama de interações dos nodos de identificação automática implementados pelo autor. O microcontrolador ocupa a posição central da arquitetura deste sub-sistema permitindo os seguintes serviços:

- Controlo de operações do sistema de identificação automática baseado na tecnologia RFID através da interface física RS-232;
- Menu de interface de modo a permitir a interação manual dos serviços de identificação automática ao encarregado de produção;
- Garantir a interligação do equipamento de identificação automática com o Módulo Central de Processamento de Dados através do protocolo *Modbus* RS-485;
- Fornecer serviços de notificação de alertas do funcionamento do sistema (visuais e sonoros).

A figura 6.29 e tabela 6.8 apresentam a ilustração e descrição dos principais constituintes do módulo de identificação e captura automática de dados baseados na tecnologia

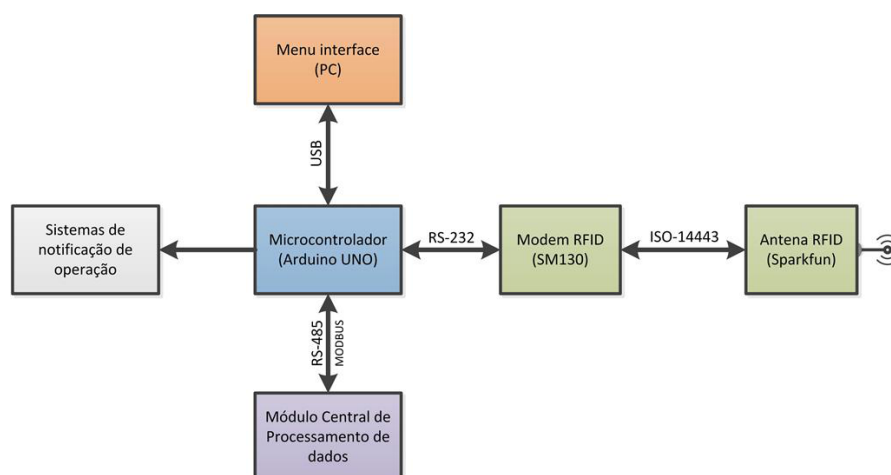


Figura 6.28: Diagrama de interações do módulo RFID implementado.

RFID. Os itens “1” e “5” constituem os sistemas de notificação de operação através de alertas visuais e sonoros. Estes dois itens alertam o utilizador acerca de erros de leitura da etiqueta⁸ bem como o processo de início e conclusão das operações de leitura/escrita.

Os itens “2”, “3” e “4” representam respetivamente o *modem* RFID, Antena RFID e microcontrolador, abordados no diagrama de interações da figura 6.28.

Os itens “6” e “7” ilustram o *hardware* relativo à conversão da parte física para a comunicação diferencial *Modbus* RS-485. A secção 6.3 (página 124) irá abordar com mais detalhe a implementação da rede *Modbus* RS-485 entre o módulo Central de Processamento de Dados e os módulos externos (módulo HMI, módulos RFID e equipamentos industriais).

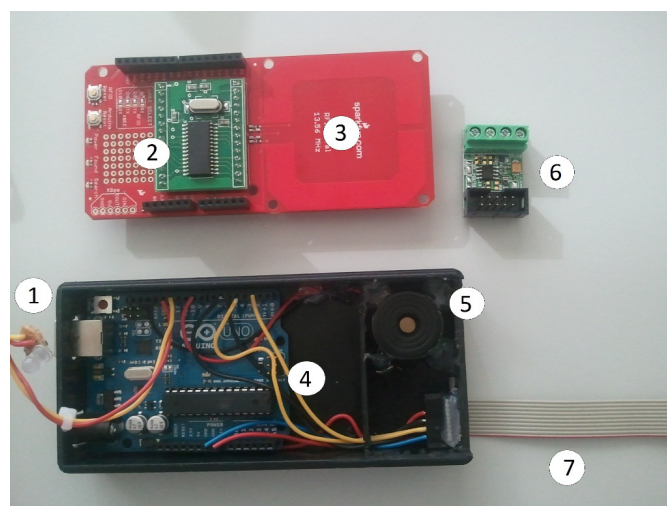


Figura 6.29: Constituição do módulo RFID desenvolvido.

⁸Este tipo de alerta é gerado pelo microcontrolador quando, no processo de leitura de dados a etiqueta deixa de estar presente na zona de interrogação do módulo RFID.

Item	Descrição
1	Estado do módulo RFID (led bipolar)
2	<i>Modem</i> RFID (SM130)
3	Antena RFID (Sparkfun)
4	Microcontrolador (Arduino UNO)
5	Estado do módulo RFID (buzzer)
6	Adaptador de rede (RS-232/RS-485)
7	Ficha UEXT para transmissão de dados via <i>Modbus</i>

Tabela 6.8: Descrição dos constituintes do módulo RFID.

Funcionamento dos nodos de identificação automática

O *modem* RFID é controlado através do microcontrolador através de um pedido de verificação do estado de interrogação do meio (mensagem *search/select*). O microcontrolador realiza constantemente pedidos de verificação do estado físico do *modem* RFID (SM130). A resposta enviada para o microcontrolador causa:

- Envio de novo pedido *search/select* - No caso de nenhuma etiqueta ter sido detectada na zona de interrogação do *modem* RFID;
- Início dos processos de autenticação da etiqueta - Procedimento realizado no caso da etiqueta ter sido detectada na zona de interrogação.

No segundo caso abordado, a etiqueta encontra-se presente no campo de interrogação do *modem* RFID. A norma ISO 14443 define processos de autenticação para o acesso à memória da etiqueta. O microcontrolador efetua a autenticação da respetiva posição de memória a operar. A autenticação de um determinado bloco de memória permite que o microcontrolador possa realizar operações de leitura e escrita na memória interna da etiqueta.

Módulos de escrita automática de dados

Os módulos de escrita automática permitem realizar a escrita de operações para a memória interna da etiqueta. Nesta parte da implementação, foram usadas quatro medições analógicas. O valor da medição analógica é efetuada internamente no módulo e pode ser regulada externamente pelo utilizador/processo. A figura 6.30 apresenta o fluxograma de controlo do microcontrolador para o suporte de operações de escrita através da medição analógica do meio físico.

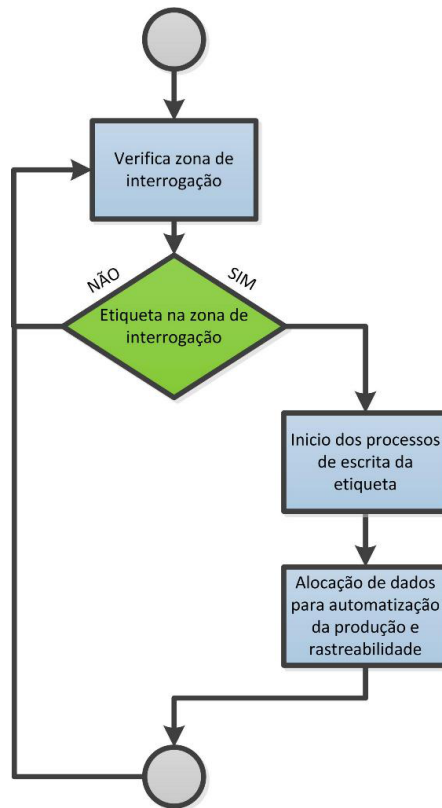


Figura 6.30: Fluxograma de controlo do módulo RFID em modo escrita automática.

Módulos de leitura automática de dados

O modo de funcionamento destes módulos encontra-se no fluxograma representado na figura 6.31. O módulo RFID, ao denotar a presença da etiqueta na zona de interrogação inicia o processo de leitura. A memória da etiqueta é constituída por 64 blocos, cada um contendo 16 bytes de dados o que perfaz um total de 1 kByte de memória. Os 16 bytes do primeiro bloco são lidos e processados pelo microcontrolador. Para o caso dos dados conterem informação relativa ao envio de dados para a Central de Processamento de Dados, o módulo RFID interrompe a leitura dos blocos e espera um pedido de transmissão de dados do módulo central. Após o envio dos dados para o módulo central, o módulo RFID volta realizar os procedimentos de leitura do bloco seguinte e processamento dos dados. O processo de leitura finda no último bloco da memória da etiqueta (bloco 64).

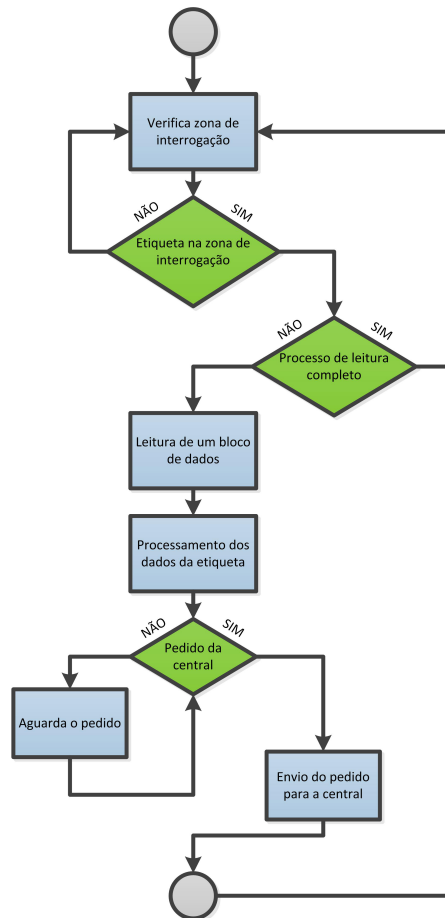


Figura 6.31: Fluxograma de controlo do módulo RFID em modo leitura automática.

Estrutura das mensagens presentes na etiqueta RFID

A alocação dos dados presentes na etiqueta seguiu uma estrutura definida pelo autor. O envio de dados para a Central de Processamento de Dados apenas é garantida se for respeitada a estrutura de mensagem da etiqueta RFID. A estrutura da mensagem escrita para um determinado bloco da memória da etiqueta contém necessariamente dois campos de dados:

- Identificação do processo;
- Dados relativos ao processo.

A implementação dos módulos RFID permitem o controlo dos sub-sistemas do módulo Central de Processamento e Dados e equipamentos externos desde que para isso seja respeitada a estrutura de mensagens do protocolo *Modbus enhanced* implementado na Central de Processamento de Dados. O sistema apresenta implementado três tipos de estruturas de mensagens para a parametrização das linhas de produção:

- **Controlo analógico** - Para atuação do sistema de atuações analógicas (DAC);

- **Controlo digital local** - Para atuação digital no módulo Central de Processamento de Dados (PIC-GSM);
- **Controlo de equipamentos industriais** - Para a parametrização de equipamentos industriais ligados á rede *Modbus*, nomeadamente autómatos.

As tabelas 6.9, 6.10 e 6.11 apresentam respetivamente a estrutura implementada para a parametrização de operações.

Controlo analógico
“DAC” + Tipo Atuação (V/I) + ID (B+C) + Valor (0-10/0-20)
“DAC V 00 10” Atuação analógica no módulo 0, canal 0 com saída 10 Volt

Tabela 6.9: Alocação de dados relativos ao controlo analógico.

Controlo digital local
“RELE” + ID + Estado (0/1)
“RELE 0 1” Atuação relé com identificador 0 e estado ON

Tabela 6.10: Alocação de dados relativos ao controlo digital.

Controlo de equipamentos industriais
“PLC” + Endereço (PLC) + ID (tipo de atuação) + Estado (1/0)
“PLC 1 4 1” Atuação do PLC com endereço 4 na rede <i>Modbus</i> , saída 4 e estado ON

Tabela 6.11: Alocação de dados relativos ao controlo de equipamentos industriais.

6.2.2 Conceção do módulo HMI

A implementação de um módulo HMI (*Human Machine Interface*) teve como objetivo principal mostrar as capacidades da arquitetura conceptual visionada pelo autor. Um HMI é basicamente um equipamento que permite a interação com o utilizador, através de um ecrã LCD táctil, permitindo monitorizar localmente os estados dos processos industriais e controlo de operações e equipamentos. O HMI apresenta o seu conteúdo em formato de interface gráfica (*GUI-Graphical User Interface*). Nesta subsecção será mais uma vez demonstrada a flexibilidade de integração e expansão de operações que o sistema implementado permite. O preço de um HMI apresenta um custo elevado. Vejamos por exemplo do SCHNEIDER ELECTRIC - HMISTU655 (320x240 de resolução) que apresenta um custo superior a 1000 euros.

Os preços praticados por este tipo de equipamentos estão fora de hipótese para incluir no sistema conceptual. O autor solucionou o problema com o uso de uma placa de desenvolvimento baseada na controlo de um monitor LCD (também este de 320x240 de resolução) através de um microcontrolador PIC de arquitetura 32 bit (PIC32MX460F512L). A

implementação desta solução requer um esforço adicional por parte do autor. No entanto, o preço desta solução é muito atrativa. O módulo HMI selecionado pelo autor apresentou um custo total inferior a 90 euros. Esta solução representou um custo de cerca de 11 vezes menor face à solução fornecida pela Schneider.

A implementação do módulo HMI consistiu na demonstração dos seguintes itens:

- Controlo e monitorização de atuações do sub-sistema Atuações Analógicas;
- Controlo de atuações do módulo Central de Processamento de Dados;
- Controlo de atuações locais do HMI;

O módulo HMI foi implementado para respeitar o protocolo *Modbus enhanced* e realizar a comunicação através de um pedido de dados realizado pela Central de Processamento de Dados.

Implementação do controlo e monitorização do sub-sistema Atuações Analógicas

O menu apresentado na figura 6.34 permite o controlo analógico do sub-sistema de Atuações Analógicas. O módulo HMI permite a seleção do tipo de saída analógica (corrente ou tensão) através do item “2” e a variação do seu valor através de um dos quatro *sliders*, representados pelo item “1”. O módulo HMI apresenta 6 páginas de controlo, uma página para cada módulo DAC, permitindo assim o controlo das 24 saídas analógicas disponibilizadas pelo sistema. A tabela 6.12 apresenta uma breve descrição dos principais elementos de controlo.

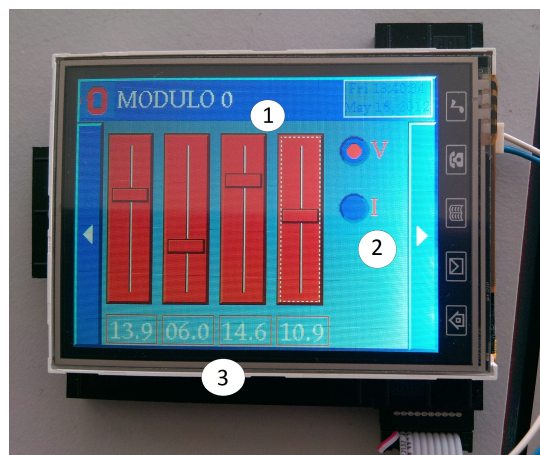


Figura 6.32: Menu de atuações analógicas proporcionado pelo módulo HMI.

Item	Descrição
1	Seleção do valor analógico através dos <i>sliders</i>
2	Seleção do tipo de saída (Corrente ou Tensão)
3	Valor selecionado pelo utilizador

Tabela 6.12: Descrição do menu de atuações analógicas.

Implementação do controlo de atuações do módulo Central

O módulo HMI permite o controlo de estados no módulo central, nomeadamente o controlo dos relés. A figura 6.33 e tabela 6.13 apresentam a implementação do controlo de atuações da Central de Processamento de Dados.

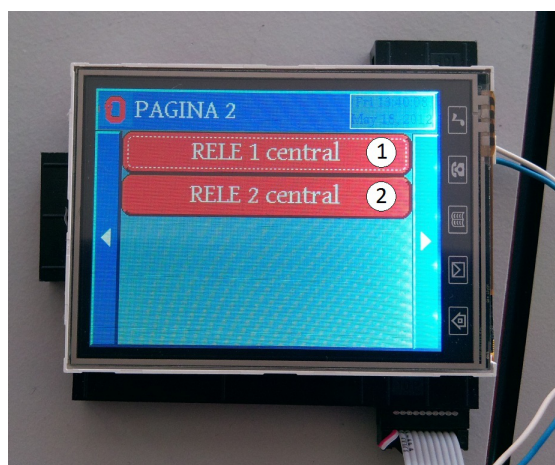


Figura 6.33: Menu de atuações do módulo central.

Item	Descrição
1	Atuação do “RELE 1”
2	Atuação do “RELE 2”

Tabela 6.13: Descrição do menu de atuações do módulo central.

Implementação do controlo de atuações locais

A implementação deste item permite a atuação local de 9 saídas digitais. Este menu ilustrado na figura 6.34 permite o controlo local de um equipamento industrial (por exemplo uma electro-válvula, autómato ou outro tipo de equipamento que apresente um entrada digital) através de um toque no botão do ecrã.



Figura 6.34: Menu de atuações local proporcionado pelo módulo HMI.

6.3 Conceção da rede proposta pelo autor

Para a conceção da rede, o autor optou pelo uso do protocolo *Modbus enhanced*, modo RTU por ser uma das comunicações mais utilizadas a nível industrial. A interface física implementada baseou-se no uso do meio físico RS-485 em modo *full-duplex*. Uma vez que os sistemas implementados com microcontroladores não dispõem de comunicação diferencial (apenas RS-232), foi necessário a conceção de módulo conversor de sinais. O módulo conversor de sinais foi implementado pelo autor e permite a interligação entre o módulo central e os módulos externos (figura 6.35).

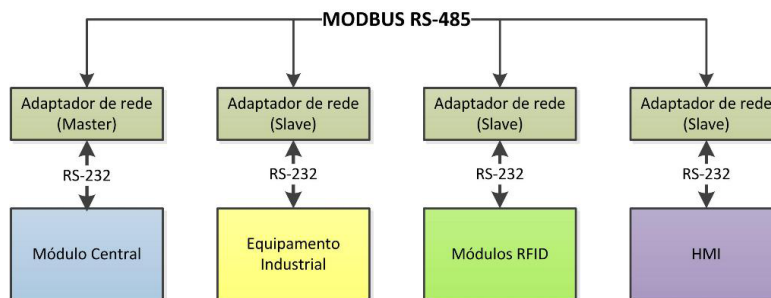


Figura 6.35: Diagrama de interligação dos vários sistemas.

O módulo conversor de sinais irá tomar neste relatório o nome de “Adaptador de rede”. Inicialmente foram estabelecidos os seguintes requisitos físicos para o Adaptador de rede:

- Topologia de rede em barramento;
- Uso de sinais digitais RS-485 para comunicação entre os equipamentos;
- Uso de conectores RJ-45 e cabos *Ethernet* para ligação do módulo central e módulos externos.

A *Analog Devices* apresenta o módulo *AD2484E*[2] que permite a sua utilização em *half-duplex* ou *full-duplex*. As figuras 6.36 e 6.37 apresentam respetivamente o esquema de ligações para a implementação de uma rede RS-485 *half-duplex* e *full-duplex* ⁹.

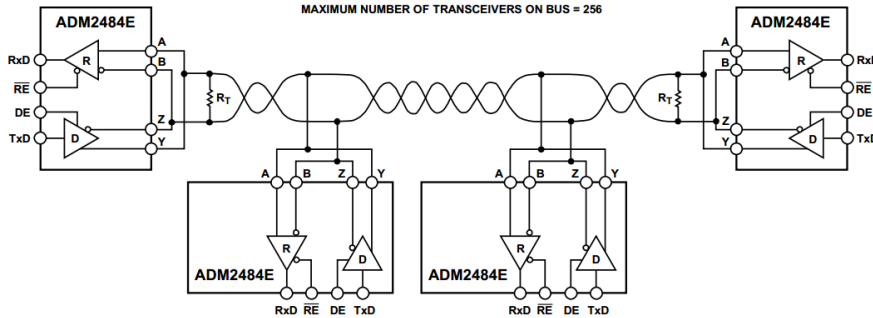


Figura 6.36: Rede *half-duplex* RS-485[2].

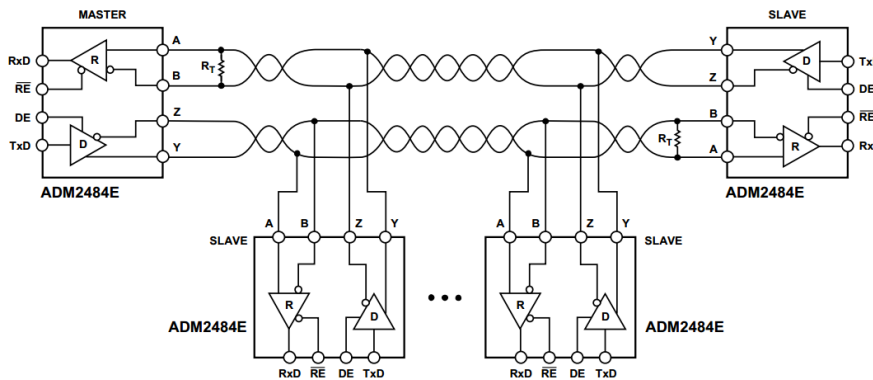


Figura 6.37: Rede *full-duplex* RS-485[2].

6.3.1 Conectividade entre dispositivos

A norma *Modbus*[14] define o tipo de cablagem e conectores a serem utilizados no caso da comunicação série RS-485, sendo que a norma prevê a utilização dos conectores *RJ-45* ou *DB-9*. O autor optou por uma implementação com o uso de conectores *RJ-45* e cabos *Ethernet* por ser mais fácil conectar os vários módulos e apresentar um menor custo¹⁰.

A imagem 6.39 apresenta o *pin-out*¹¹ dos conectores *DB-9* e *RJ-45* abordada pelo protocolo *Modbus*[14]. O mapa de ligações do conector *RJ-45* será respeitado na implementação do módulo conversor RS-485/RS-232. O pino “7”, relativo à alimentação DC (5/24 Volt) foi usado como alimentação dos módulos RFID e HMI com o valor de 9

⁹De notar que as figuras 6.36 e 6.37 apresentam a interface RE (*Receiver Enable Input*) e DE (*Driver Enable Input*) para controlo das transmissões de cada nodo. Mais tarde serão abordados com maior ênfase a utilização destes controlos.

¹⁰Conectores *DB-9* e respetivos cabos mais dispendiosos.

¹¹*Pin-out* refere-se ao mapa de ligações dos pinos.

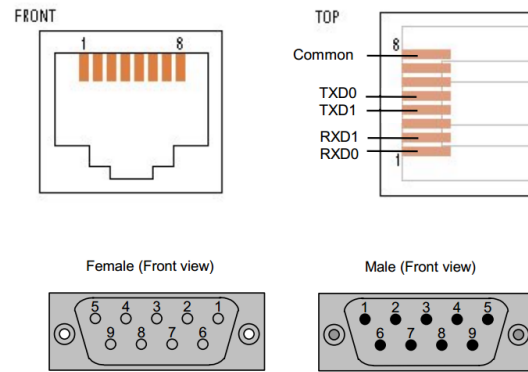


Figura 6.38: Conector RJ-45 e DB-9[14].

Volt. O anexo A1 da página 143 apresenta o esquema eléctrico dos adaptadores de rede implementados pelo autor.

Pin on RJ45	Pin on D9-shell	Level of requirement	IDv Signal	ITr Signal	EIA/TIA-485 name	Description for IDv
1	8	required	RXD0	RXD0	A'	Receiver terminal 0, Va' Voltage (Va' > Vb' for binary 0 [ON] state)
2	4	required	RXD1	RXD1	B'	Receiver terminal 1, Vb' Voltage (Vb' > Va' for binary 1 [OFF] state)
3	3	optional	PMC	--	--	Port Mode Control
4	5	required	TXD1	TXD1	B	Generator terminal 1, Vb Voltage (Vb > Va for binary 1 [OFF] state)
5	9	required	TXD0	TXD0	A	Generator terminal 0, Va Voltage (Va > Vb for binary 0 [ON] state)
7	2	recommended	VP	--	--	Positive 5...24 V DC Power Supply
8	1	required	Common	Common	C/C'	Signal and Power Supply Common

Figura 6.39: Pin-out dos conectores RJ-45 e DB-9[14].

6.3.2 Estrutura das mensagens e funcionamento do sistema integrador

O sistema integrador terá que apresentar dois modos de funcionamento:

- Controlo dos equipamentos de identificação automática (Nodos RFID);
- Controlo dos equipamentos pré-existent na linha (PLC, drivers, entre outros equipamentos ligados à rede *Modbus*).

O equipamento *master* (módulo Central de Processamento de Dados) efetua periodicamente mensagens de pedido de informação para os nodos presentes na linha. Sempre que um determinado nodo RFID é solicitado com a mensagem de pedido de informação, este poderá proceder ao envio de dados para o Módulo Central de Processamento de Dados. Desta forma todos os nodos poderão trocar informações com módulo Central. A imagem 6.40 ilustra o fluxograma de controlo da rede industrial. Perante a mensagem recebida, a central irá decidir a operação que terá que efetuar: parametrização de linhas de

produção e respetiva monitorização através dos serviços Web ou atualização dos serviços de rastreabilidade na base de dados.

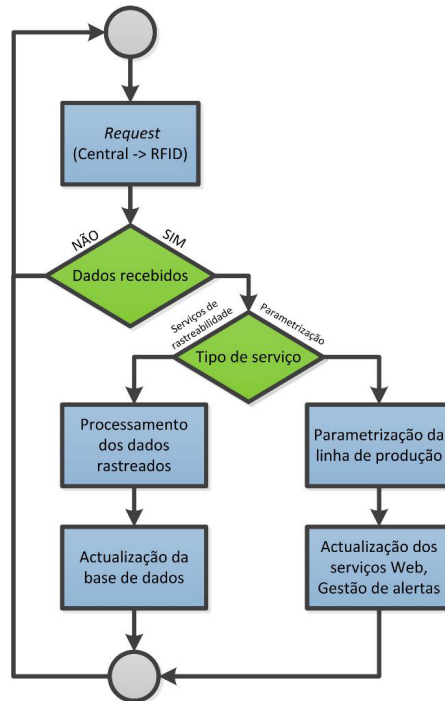


Figura 6.40: Fluxograma de processamento das mensagens recebidas pela central.

O estudo do protocolo *Modbus* (ver secção 4.2.3 da página 71) demonstrou que a estrutura de mensagens contém um campo definido pela identificação (ID) do equipamento e função. O autor fez uso das funções *Modbus* definidas pelo utilizador (denominadas de “*User Defined Function Codes*” na figura 4.13 da página 74) para a integração dos serviços de rastreabilidade em conjunto com serviços de parametrização de linhas de produção.

As funções definidas pelo utilizador encontram-se descritas na tabela 6.14. A função “65” é enviada para os nodos de identificação automática, ou seja, é apenas transmitida do módulo Central para os equipamentos externos. As funções “66”, “67” e “68” são enviadas pelos serviços de parametrização (através dos módulos RFID) e permitem controlar diferentes operações industriais. As duas primeiras funções (“66” e “67”) dizem respeito a parametrizações locais do módulo central. A função “68” diz respeito a uma atuação digital externa, que neste caso particular, permite a atuação digital de equipamentos industriais.

As funções “69” e “70” dizem respeito aos serviços de rastreabilidade propostos na secção 5.4.

A tabela 6.15 apresenta a estrutura da mensagem a utilizada para pedidos de informação aos nodos de identificação pessoal. As tabelas 6.16¹², 6.17 e 6.18 apresentam respetivamente as respostas para controlo de uma atuação local analógica, atuação local digital e atuação digital externa.

¹²Os campos ID1 e ID2 dizem respeito à identificação da saída analógica. O tipo de atuação selecionado poderá ser corrente(0) ou tensão(1) com 16 bits de resolução.

Função	Descrição	Origem	Destino
65	Pedido de dados(<i>Request</i>)	Central	Nodos RFID
66	Atuação analógica local	Nodos RFID	Central
67	Atuação digital local	Nodos RFID	Central
68	Atuação digital externa	Nodos RFID	Central
69	Serviços de rastreabilidade	Central	Nodos RFID
70	Serviços de rastreabilidade	Nodos RFID	Central

Tabela 6.14: Funções definidas pelo utilizador (*Modbus enhanced*).

Endereço	65	0	0	0	0	CRC	CRC
----------	----	---	---	---	---	-----	-----

Tabela 6.15: Mensagem de controlo dos nodos de identificação (*request* de dados).

Endereço	66	ID <i>Tag</i>	Board	Canal	Atuação (V/I)	MSB	LSB	CRC	CRC
----------	----	---------------	-------	-------	---------------	-----	-----	-----	-----

Tabela 6.16: Mensagem de resposta para atuação local analógica.

Endereço	67	ID <i>Tag</i>	ID Rele	Estado	CRC	CRC
----------	----	---------------	---------	--------	-----	-----

Tabela 6.17: Mensagem de resposta para atuação local digital.

Endereço	68	ID <i>Tag</i>	ID <i>Slave</i>	ID Atuação	Estado (1/0)	CRC	CRC
----------	----	---------------	-----------------	------------	--------------	-----	-----

Tabela 6.18: Mensagem de resposta para atuação de um PLC ligado à rede industrial.

A figura 6.41 apresenta o período de aproximadamente 40 mS para o envio de *requests* da Central de Processamento de Dados para os diferentes nodos da linha. A figura 6.42 ilustra a comunicação entre a central e equipamentos presentes na linha. O estado “1” (figura 6.42) ilustra o envio da trama *request* para os módulos externos. O estado “2” (figura 6.42) representa as várias respostas dos módulos externos face ao pedido *request* efetuado pelo Central de Processamento de Dados.

O tempo de transmissão desde o pedido *request* até à receção da resposta do nodo ronda os 20 mS (figura 6.42).

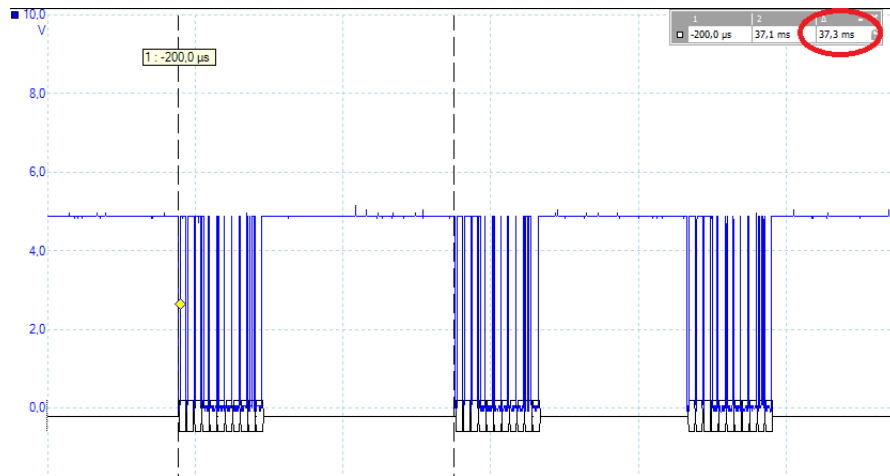


Figura 6.41: Tempo entre os pedidos *request* do módulo Central.

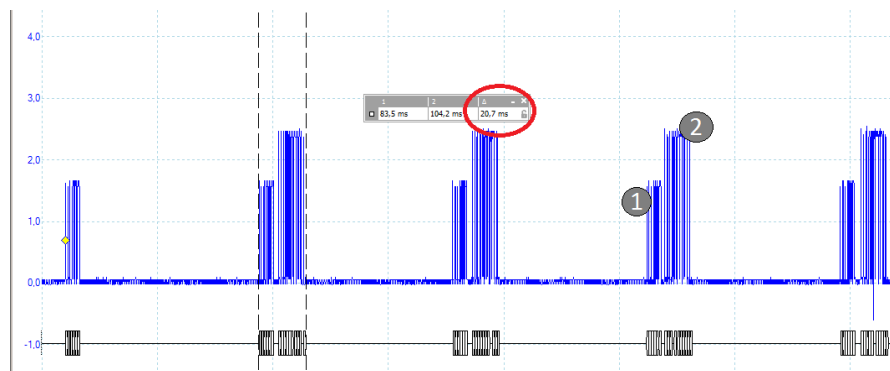


Figura 6.42: Comunicação entre a central e nodos presentes na linha.

6.3.3 Ligação dos módulos externos

A figura 6.43 e tabela 6.19 descrevem as principais ligações dos adaptadores de rede concebidos pelo autor, permitindo a ligação dos vários equipamentos ao sistema integrador.

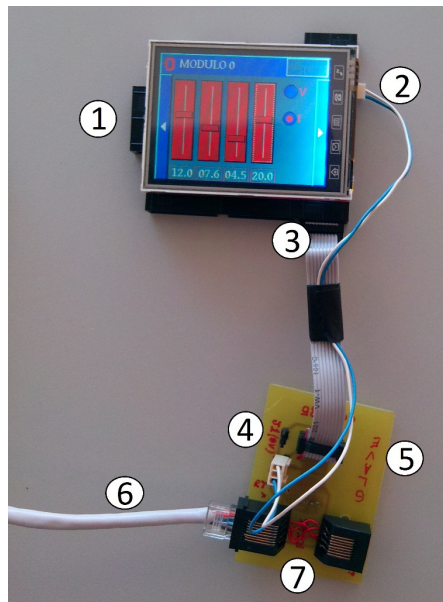


Figura 6.43: Adaptador de rede para a interligação dos equipamentos externos.

Item	Descrição
1	Representação do equipamento externo (HMI)
2	Ficha de alimentação do adaptador de rede (9 Volt)
3	Ficha de transmissão de dados (RS-232)
4	<i>Jumper</i> de seleção de alimentação para a ficha “3”
5	Adaptador de rede/equipamento (UEXT)
6	Ligação <i>Modbus</i> RS-485 (cabo <i>Ethernet</i>)
7	Conectores RJ-45 para ligação ao barramento <i>Modbus</i>

Tabela 6.19: Descrição do adaptador de rede.

6.3.4 Análise de resultados do sistema implementado

A tabela 6.20 apresenta um breve descrição da análise do desempenho obtido pela implementação do sistema integrador.

Descrição	Funcionamento	Tempo medido
Tempo entre pedidos <i>request</i> no barramento <i>Modbus</i> efectuado pela Central	Automático	$\approx 38ms$
Tempo entre o envio e resposta no barramento <i>Modbus</i> (Central-Módulos externos)	Automático	$\approx 20ms$
Tempo de envio da mensagem da Central para os módulos externos (9.6 kbps)	Automático	$\approx 10ms$
Tempo de processamento e retorno da mensagem dos módulos RFID	Automático	$\approx 2ms$
Tempo de envio dos alertas SMS	Automático	$\approx 3/5segundos$
Tempo de controlo (Central-PLC)	Manual	$\approx 10ms$
Tempo de controlo (RFID-Central)	Automático	$\approx 40ms$
Tempo de controlo do PLC através dos módulos RFID (RFID-Central-PLC)	Automático	$\approx 50ms$
Tempo da mensagem para a atuação analógica (Central-Módulos Analógicos)	Manual	$\approx 830\mu s$
Tempo da mensagem para a atuação analógica (RFID-Central-Módulos Analógicos)	Automático	$\approx 40ms$
Tempo de escrita de 64 bytes relativos à leitura de 4 analógicas (Módulo RFID-Etiqueta)	Automático	$< 200ms$
Tempo de atualização da monitorização do Web Server	Automático	<i>Real-time</i>
Tempo para o controlo de processos através do Web Server	Automático	<i>Real-time</i>

Tabela 6.20: Análise de desempenho do sistema integrador.

Conclusões

O crescimento industrial observado exige a necessidade de implementação de sistemas que permitam o fornecimento de serviços de rastreabilidade dos itens na cadeia de fornecimento e a melhoria dos processos produtivos da instalação fabril.

Cada vez mais o código de barras não consegue responder aos desafios industriais atuais e por isso existe a necessidade de integrar novos sistemas de rastreabilidade através de outro tipo de suporte.

A tecnologia RFID promete ser o futuro suporte para a integração de novos sistemas de rastreabilidade: identificação e captura de dados rápida e automática sem linha de vista, resistência em ambientes industriais, possibilidade de reescrita de dados e identificação única (*unique ID*). Contudo, apresenta também algumas limitações: necessidade de normalização que defina uma frequência de suporte global (relembrar a figura 3.12 da página 45), definição de normas para a partilha de dados entre os colaboradores (transparência na cadeia de fornecimento), custo elevado, dificuldade de integração, problemas de interferência (equipamentos¹³, metais, líquidos), etc.

A organização GS1 apresenta duas normas para a utilização de sistemas de rastreabilidade baseadas na tecnologia RFID:

- *Class 1 HF RFID Air Interface Protocol* - norma que define os requisitos físicos e lógicos para a utilização de sistemas passivos com acoplamento *backscatter* e frequências de operação de 13.56 MHz (HF);
- *Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard "Gen 2"* - norma que define os requisitos físicos e lógicos para a utilização de sistemas passivos com acoplamento *backscatter* e frequências de operação de 860-960 MHz (UHF).

A identificação e captura de dados através da tecnologia RFID é definida através da codificação EPC. A codificação EPC apresenta algumas limitações: não possui normalização ISO¹⁴, apresenta uma estrutura fechada com apenas 12 bytes de dados que definem um número de série único. Os dados são previamente escritos na etiqueta pelo que não podem ser alterados na cadeia de fornecimento, tornando o EPC numa estrutura limitativa e pouco abrangente.

A cadeia de fornecimento necessita que as suas atividades estejam integradas e que haja transparência de dados. O conceito implementado no âmbito desta dissertação teve como objetivo fornecer um sistema de rastreabilidade capaz de incorporar serviços de

¹³Uma vez que os equipamentos RFID não dispõem de uma frequência de suporte única e exclusiva para a comunicação entre a *tag* e o leitor, muitas das vezes são influenciados por equipamentos com maior potência de sinal.

¹⁴O protocolo EPC ainda se encontra em atualização.

rastreabilidade (inspirados na codificação GS1-128¹⁵) e a parametrização de linhas de produção através da tecnologia RFID de forma fácil e flexível. O estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação evidenciou o uso da codificação GS-128 em praticamente todos os setores da cadeia de fornecimento (exceptuando-se apenas o setor dos Pontos de Venda dos produtos), pelo que o sistema baseou-se numa implementação híbrida, que contenha o melhor das duas tecnologias de identificação: o uso da tecnologia RFID como mecanismo de identificação e a implementação de uma estrutura de dados similar à codificação GS1-128, fazendo o uso dos já bem definidos *Application Identifiers*.

O conceito implementado pelo autor passou pelo estudo e análise de uma arquitetura conceptual que pudesse estar totalmente integrada nos serviços internos da empresa, proporcionando ao sistema um menor custo de integração dos serviços de rastreabilidade e a garantia da flexibilidade e fiabilidade do sistema em função das necessidades da empresa. A indústria, na maior parte dos casos já apresenta uma infraestrutura de comunicações (nomeadamente o *Modbus*, *Profibus* ou outra rede industrial) para a comunicação dos equipamentos, que pode ser utilizada para integração de serviços de rastreabilidade necessários à gestão da cadeia de fornecimento.

Através da implementação de uma arquitetura centralizada e uma versão acrescentada do protocolo industrial *Modbus*, foi possível integrar a comunicação dos equipamentos industriais em conjunto com os sistemas de identificação RFID implementados pelo autor para prover os serviços de rastreabilidade e parametrização de linhas de produção.

A implementação do sistema passou pela conceção de uma estrutura central (Módulo Central de Processamento de Dados) capaz de integrar e processar dados oriundos dos vários equipamentos ligados à rede *Modbus enhanced*.

O sistema integrador implementado conseguiu brindar o sucesso dos requisitos inicialmente propostos para o conceito. A plataforma computacional de eleição pelo autor residiu no uso de microcontroladores para o controlo de todo o sistema integrador. Esta plataforma permitiu uma boa redução de custos na implementação e uma elevada flexibilidade do sistema. Apesar de ser um sistema baseado apenas em microcontroladores, o sistema conseguiu garantir a integração dos vários sistemas implementados, dos quais se destacam a integração dos equipamentos industriais e os módulos RFID através *Modbus enhanced*.

O sistema presta uma boa gestão de serviços de monitorização e controlo através do serviço de alertas GSM e serviços Web para a monitorização e controlo *real-time* dos processos da instalação fabril, numa solução totalmente integrada e funcional, totalmente apta para responder às necessidades e requisitos da indústria.

A escalabilidade de um sistema é definida por duas vertentes: tamanho da rede e número de funcionalidades. Em relação ao tamanho de rede, o sistema implementado está limitado a 256 equipamentos ligados à rede (definido pelo protocolo *Modbus*[14]). Em termos do número de funcionalidades, a arquitetura definida está preparada para possibilitar de forma rápida e simples a adição novos requisitos/serviços ao sistema integrador, bastando para isso uma atualização do *firmware*/sistema operativo desenvolvido.

O desenvolvimento dos módulos RFID basearam-se numa solução comercial como ponto de partida para a demonstração e desenvolvimento do sistema integrador. Os módulos implementados apresentam uma distância de leitura/escrita de 10 a 12 cm o que, pode não ser suficiente para a identificação do item/produto na indústria¹⁶. Qualquer sis-

¹⁵Propriedades do GS1-128 abordadas na subsecção 3.1.3 da página 32.

¹⁶Note-se que a frequência HF a 13,56 Mhz, apesar de possuir pouco alcance de transmissão, é menos

tema apresenta vantagens e desvantagens. O estudo desta dissertação permitiu um bom conhecimento da tecnologia RFID. A escolha da melhor solução passa pela análise dos requisitos necessários destacando-se a frequência de operação (que, como foi evidenciado nesta dissertação, é uma das grandes limitações do RFID), alcance, memória de dados da etiqueta, possíveis interferências (principalmente metais, líquidos ou equipamentos que utilizem frequências da mesma gama), algoritmos de anti-colisão (caso haja necessidade para o sistema), etc.

O desenvolvimento de um sistema de atuações analógicas e implementação de um HMI permitiu a integração de novos serviços na solução integradora implementada e a demonstração da potencialidade do sistema desenvolvido.

Os adaptadores de rede implementados pelo autor apresentaram uma limitação de hardware que foi corrigida nos esquemas elétricos do anexo A1 da página 143. O autor não teve em consideração a necessidade do controlo da saída de dados do IC ADM2484E[2] para adaptadores de rede do tipo *slave*. Cada nodo *slave* terá obrigatoriamente que garantir o estado de alta impedância aquando da espera para efetuar a sua comunicação para a Central de Processamento de Dados. O problema do funcionamento em rede do RS-485 encontra-se explicado na subsecção 4.2.2 da página 71). A limitação de hardware de momento não garante a comunicação em rede com mais do que um *slave* pelo facto da primeira revisão do esquema eléctrico dos adaptadores de rede não incorporar a seleção do meio de transmissão. Para solucionar a falha observada, existe a necessidade de conceber novos adaptadores de rede de acordo com o esquema eléctrico e placa de circuito impresso de acordo com o anexo A1.

No que diz respeito ao trabalho futuro, por razões de tempo não foi possível concluir a introdução do sistema de rastreabilidade em sistemas de gestão de informação através de uma base de dados (MySQL). O tempo para o desenvolvimento da solução foi um enorme desafio para o autor e não houve a possibilidade de integrar o sistema integrador em conjunto com a base de dados. Como trabalho futuro, o desenvolvimento nesta área seria interessante uma vez que os serviços de gestão de informação da empresa passariam a disponibilizar os serviços de rastreabilidade implementados até ao momento. O desenvolvimento passaria pelo envio de uma trama TCP/IP (através da Central de Processamento de Dados) para atualização de eventos no sistema de gestão de informação presentes na base de dados MySQL, incorporada num computador pessoal.

A monitorização em *real time* da página web seria outro aspecto a melhorar no futuro, de modo a que permita monitorizar facilmente os equipamentos externos (PLC's, etc) ligados ao *Modbus enhanced*.

influenciado por metais/líquidos que a frequência UHF e é utilizada em várias nações.

Bibliografia

- [1] *8-bit PIC® Microcontrollers, MICROCHIP. Acedido em: 15,04,2012, em: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/8bit/architecture/pic18.html>.*
- [2] *ADM2884E datasheet.*
- [3] *ARPANET. Acedido em: 27,08,2012, em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/ARPANET>.*
- [4] *Bio-Acoustics, Haptic Steering Wheels, RFID Everywhere. Acedido em: 25,03,2012, em: <http://gizmodo.com/rfid/>.*
- [5] *Google Wallet. Acedido em: 11,03,2012, em: <http://www.google.com/wallet/faq.html>.*
- [6] *GS1 Application Identifier Values. Acedido em: 16,10,2012, em: <http://www.gs1-128.info/ai-values>.*
- [7] *GS1 DataBar: A Revolução no ponto de venda. Mais informação. Menos espaço. Acedido em: 02,10,2012, em: <http://media.gs1pt.org>.*
- [8] *GS1 DataBar (RSS) Overview. Acedido em: 02,10,2012, em: www.gs1.org/barcodes/databar/overview.*
- [9] *GS1. GS1 and ISO: Partnering for Standards.*
- [10] *Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA(EIA-485-A) Network. Acedido em: 03-07-2012, www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/763.*
- [11] *The human tracking chip. Acedido em: 19,03,2012, em: <http://zazenlife.com/2012/06/08/rfid-chip/>.*
- [12] *Interfaces for Use with ALE (Computer to Radio), DB9 Connector RS-232 Pinout. Acedido em: 13,07,2012, em: <http://hflink.com/interface/>.*
- [13] *Modbus application protocol specification v1.1b.*
- [14] *MODBUS over serial line specifications and implementation guide V1.02.*
- [15] *ONU revela que mais de 2 bilhões de pessoas têm acesso à internet. Acedido em: 14,09,2012, em: <http://www.tecmundo.com.br/internet/8071-onu-revela-que-mais-de-2-bilhoes-de-pessoas-tem-acesso-a-internet.htm>.*

- [16] *RFID coupling techniques - backscatter, capacitive, inductive*. Acedido em: 27,07,2012, em: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/coupling-backscatter-inductive-capacitive.php>.
- [17] *RFID Tag Mifare 1Kbyte (13.56 MHz)*. Acedido em: 19,03,2012, em: <http://www.inmotion.pt/storerfid-tag-abs-token-mifare-1k>.
- [18] *SIM300D AT Command Set, Software Specification*.
- [19] *VISA, Future of Payments Showcased at London Olympic Games*. Acedido em: 03,09,2012, em: <http://currencyofprogress.visa.com/future-of-payments-showcased-at-london-olympic-games/>.
- [20] *What are transponder keys*. Acedido em: 25,03,2012, em: <http://paxtonlocksmithing.com/blog/2012/02/01/what-are-transponder-keys/>.
- [21] 2nd edition, editor. *ISO 8402:1994 Quality management and quality assurance - Vocabulary*. ISO/IEC, 1994.
- [22] Afonso Costa Aires. Sistema de gestão da produção para ambientes industriais. Master's thesis, Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, 2008.
- [23] D. Baddeley, editor. *ISO/IEC 14443-x, Identification cards - Contactless integrated circuit cards - Proximity cards*. ISO/IEC, 1997.
- [24] Associação Portuguesa de Identificação e Codificação de Produtos. Gs1 epcglobal. *GS1 Portugal CODIPOR*, I:12, 2008.
- [25] Agencia Española de Seguridad Alimentaria. Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria. *Ministerio de Sanidad Y Consumo*, I:79, 2004.
- [26] Silvério Manuel dos Santos Neves. Rastreabilidade de componentes na cadeia de fornecimento. Master's thesis, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro,, 2005.
- [27] Klaus Finkenzeller. *RFID Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. Wiley, 2003.
- [28] Food Standards Agency Food Chain Strategy Division. *Traceability in food chain A preliminary study*. Food Standards Agency, March 2002.
- [29] Committee for Developing Educational Materials for Food Traceability, editor. *Handbook for Introduction of Food Traceability Sysrtems (Guidelines for Food Tarceability)*. Second Edition, 2007.
- [30] GS1. *The GS1 Traceability Standard: What you need to know*. GS1, 2007.
- [31] GS1. *GS1 Identification Key Series GTIN (Global Trade Item Number)*. GS1, June 2009.

-
- [32] Matthias Handy. Rfid technology. In *Institute of Applied Microelectronics & CS, University of Rostock*, 2004.
- [33] Patrick J. Sweeney II. *RFID for dummies*. Wiley Publishing, Inc., 2005.
- [34] ISO/IEC, editor. *ISO/IEC 7810 Identification cards - Physical characteristics*. Third edition, 2003.
- [35] ISO/IEC, editor. *ISO/IEC 7816 - Integrated circuit cards*. Second edition, 2005.
- [36] José Manuel Perdigão Silva Leal. Radio frequency identification: O futuro da gestão de stocks na grande distribuição. Master's thesis, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [37] Chuck Davis Jason Forrester Wei Liu Carolyn Matthews Nicolas Rosselot Lydia Parziale, David T. Britt. *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*. Redbooks, 2006.
- [38] Steve Hodges & Duncan McFarlane. Radio frequency identification: technology, applications and impact. *Auto-ID Lab, Cambridge University, UK*, Edition 1:17, 2005.
- [39] Florian Michahelles Patrick Schmitt. *Economic Impact of RFID report*. Bridge, April 2008.
- [40] Bob Perrin. The art and science of rs-485. *Circuit Cellar*, 1:18, July 2009.
- [41] José Paulo Santos. *PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO SÉRIE EIA485 (apontamentos)*. Universidade de Aveiro, 2010.
- [42] Microchip Technology. *PIC18F97J60 Family Data Sheet, 64/80/100-Pin, High-Performance, 1 Mbit Flash Microcontrollers with Ethernet*. Microchip, 2006.
- [43] Floyd Wilder. *A guide to the TCP/IP Protocol suite*. Artech House, 1998.
- [44] Frank Gillert Wolf-Ruediger Hansen. *RFID for the Optimization of Business Processes*. Wiley, 2008.

Anexos

A1 - Esquema Eléctrico dos adaptadores de rede

As figuras 6.46 e 6.47 apresentam o esquema eléctrico do adaptador de rede para o nodo *Master* e nodos *Slave* respetivamente.

As figuras 6.46 e 6.47 ilustram o desenvolvimento das placas de circuito impresso dos adaptadores de rede *Modbus enhanced* através do suporte físico RS-485 *full-duplex*.

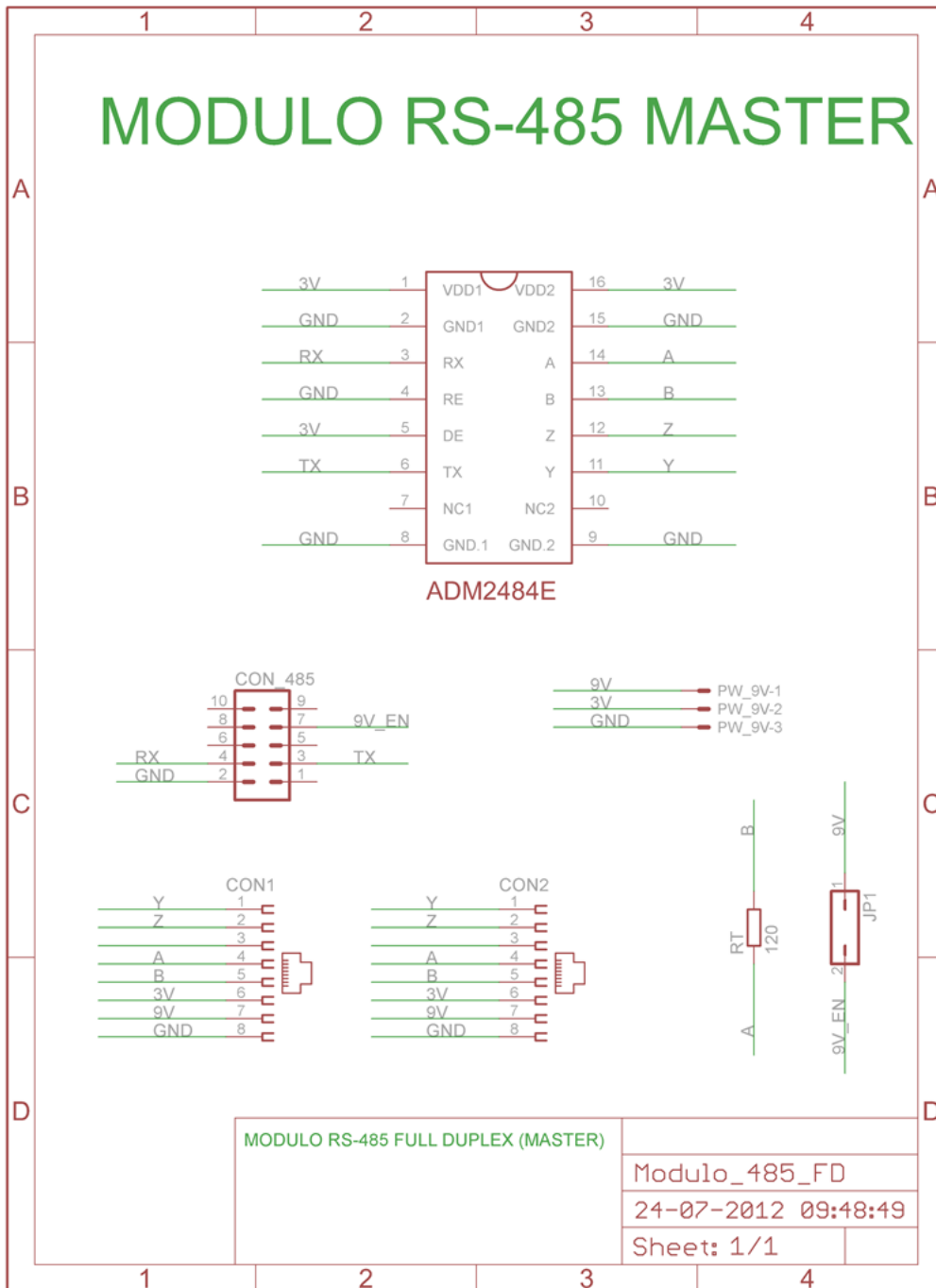


Figura 6.44: Esquema eléctrico do adaptador de rede para o nodo *Master*.

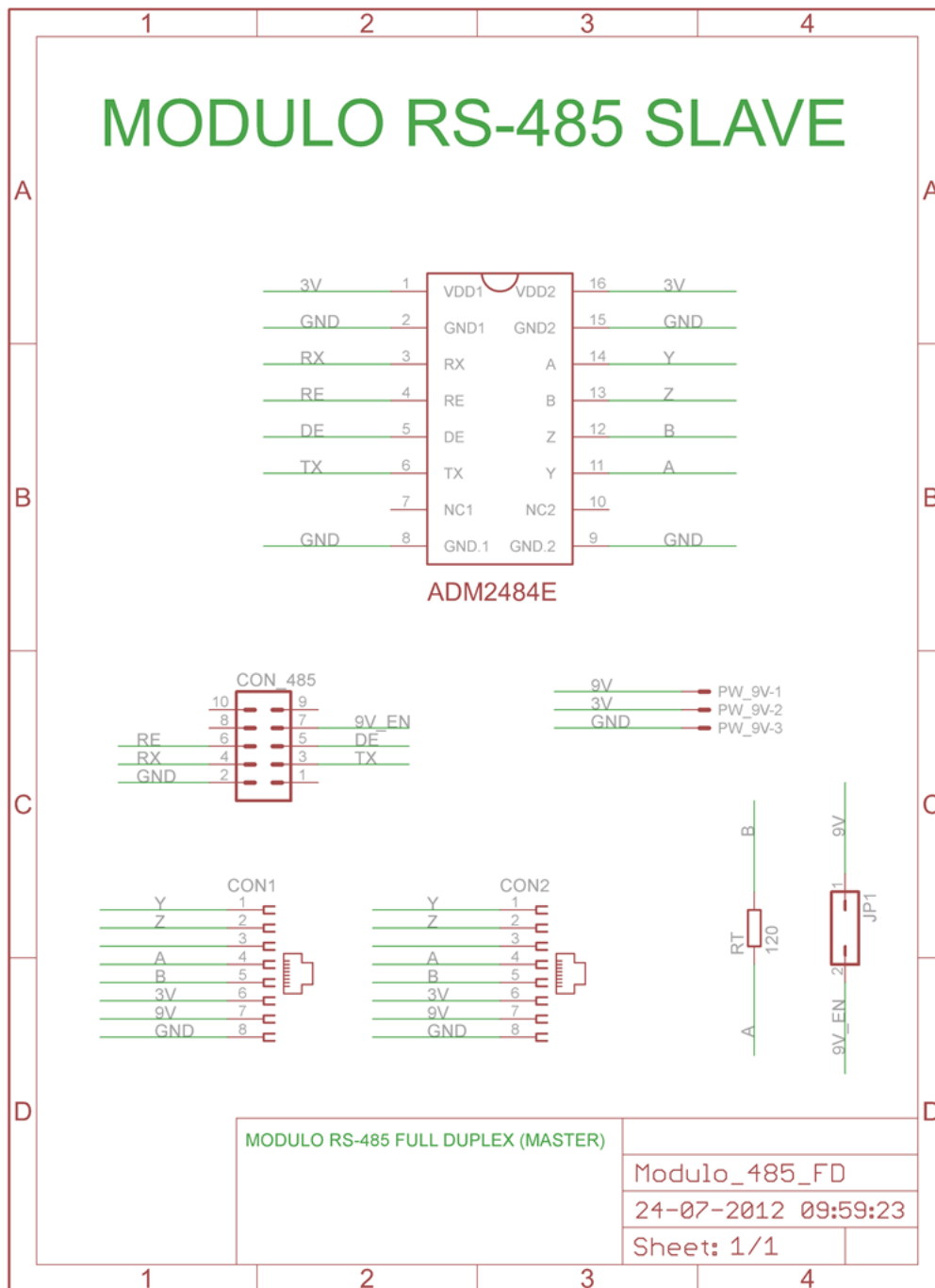


Figura 6.45: Esquema eléctrico do adaptador de rede para nodos do tipo *Slave*.

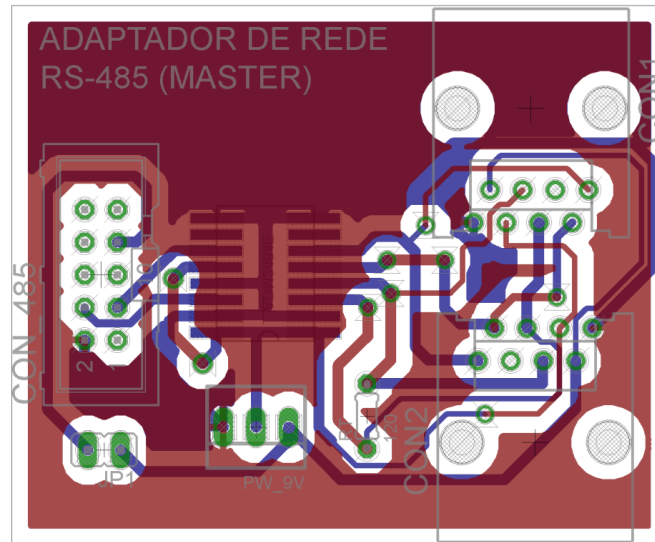


Figura 6.46: Placa de circuito impresso do adaptador de rede *Master*.

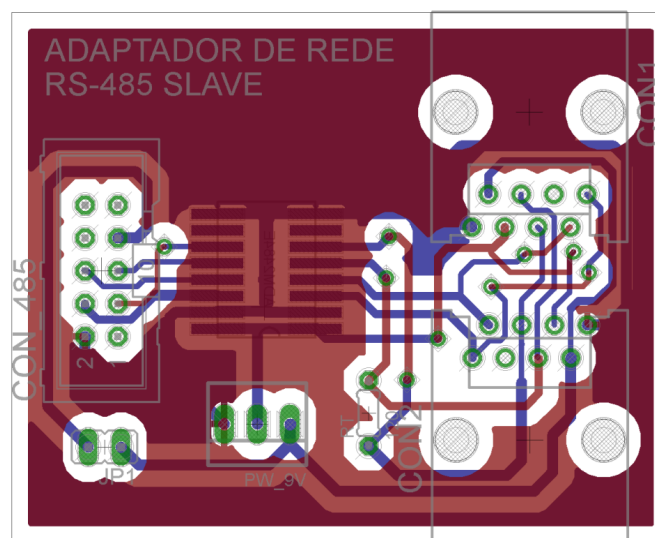


Figura 6.47: Placa de circuito impresso do adaptador de rede *Slave*.

A2 - Esquema Eléctrico da interface de saídas analógicas

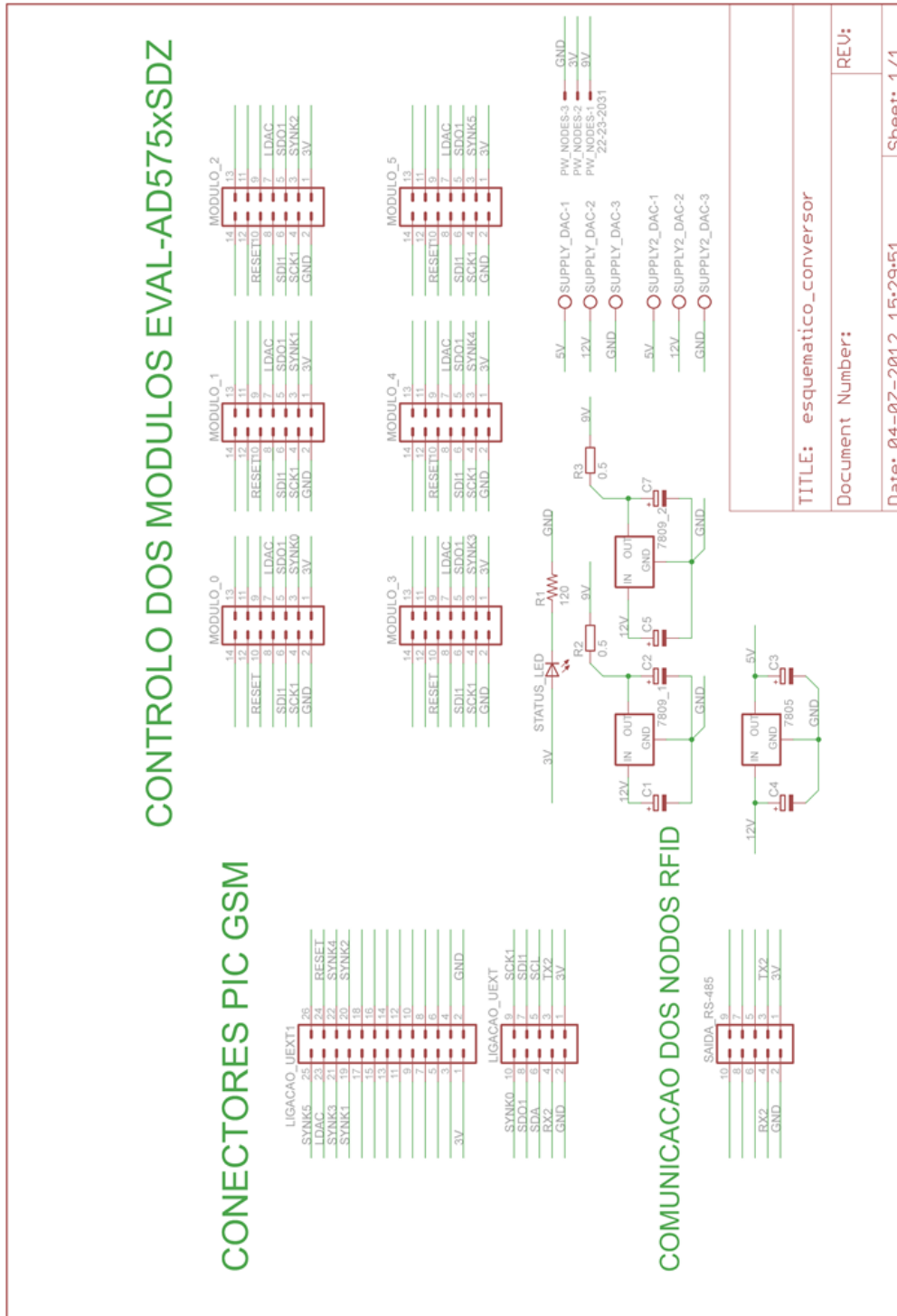


Figura 6.48: Esquema eléctrico da placa de interface analógica.

A3 - Esquema eléctrico do módulo RFID

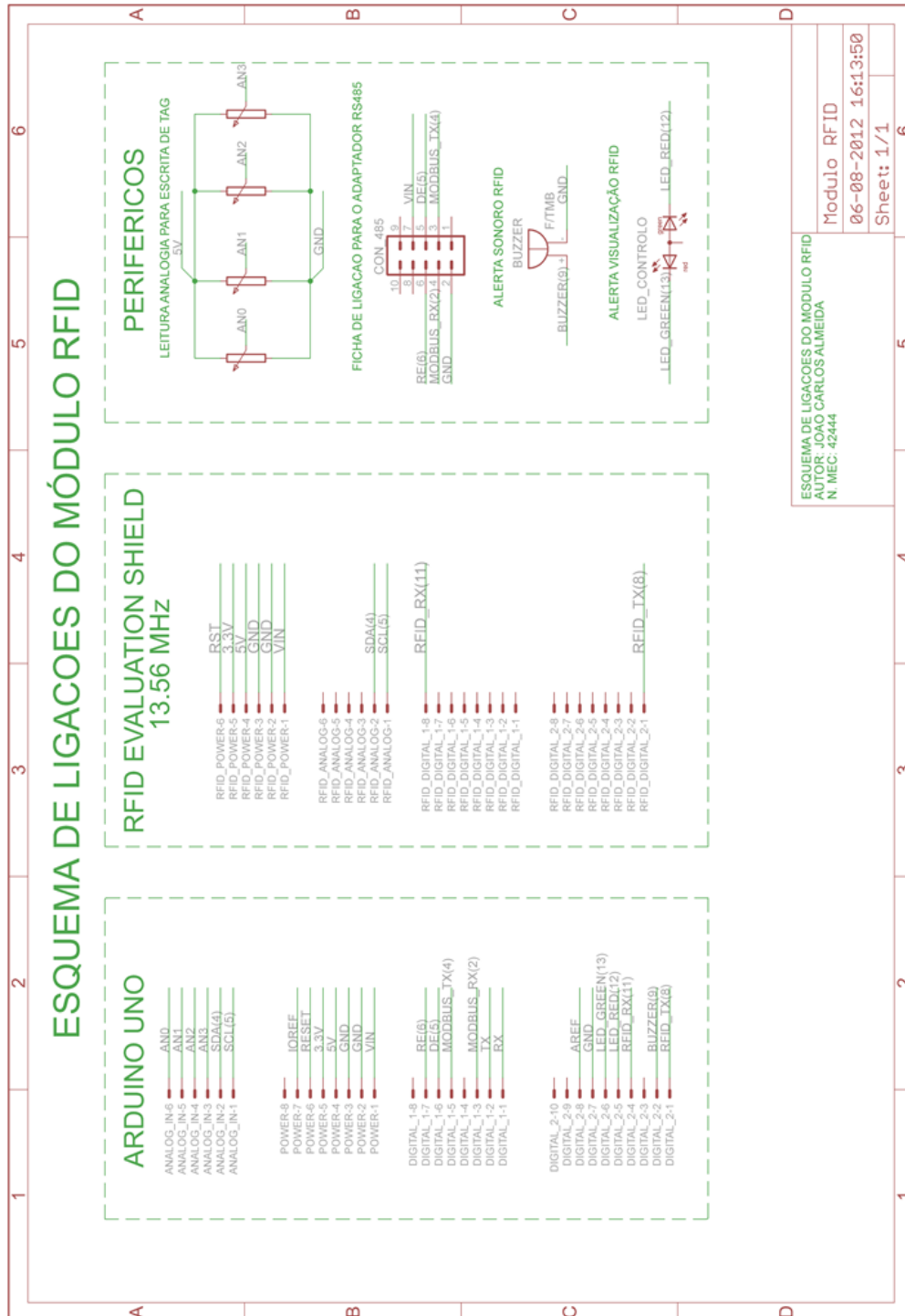


Figura 6.49: Esquema eléctrico do módulo RFID.