Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2016

Henrique Pinho Santos

Sistema de armazenamento e transporte de energia

Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2016

Henrique Pinho Santos

Sistema de armazenamento e transporte de energia

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

O júri / The jury

Presidente / President	**Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa** Professor Associado C/ Agregação da Universidade de Aveiro
Vogais / Committee	**Prof. Doutor Rui Manuel Escadas Ramos Martins** Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro
	Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

Agradecimentos / Acknowledgements

Quero começar por agradecer toda a paciência e persistência do professor doutor José Paulo Santos, que sempre se disponibilizou em tudo o que precisei ao longo da elaboração desta dissertação com toda a sua dedicação.

Gostaria de agradecer à D2M, em particular ao Engenheiro Dâmaso Silva por dispor os materiais necessário à realização desta dissertação.

Deixo um agradecimento especial à minha família e à Odília, por todo o carinho e apoio demonstrado, fundamentais em tudo o que faço.

Por último, certamente não menos importante, queria agradecer aos meus amigos e colegas pela amizade, partilha e companheirismo ao longo destes anos.

Palavras-chave Veículo elétrico; Mobilidade elétrica; Monitorização; Radiofrequência; Microcontroladores.

Resumo

Perante a conjuntura atual e considerando as crescentes preocupações ambientais e de sustentabilidade, dá-se o desenvolvimento de novas tecnologias de mobilidade, como os veículos elétricos. Os problemas relacionados com a baixa autonomia dos veículos elétricos e a falta ou degradação de infraestruturas públicas de carregamento obrigam os condutores a um planeamento exaustivo da utilização do veículo.

Para tentar colmatar estes problemas, surge a presente dissertação, na qual se propõe a criação de um protótipo de um sistema de armazenamento e transporte de energia elétrica, que possibilita a monitorização e controlo de uma rede de baterias para, posteriormente, abastecer veículos elétricos. Com vista a facilitar as tarefas de monitorização e gestão do sistema é facultado ao utilizador uma aplicação local, possibilitando a visualização de diversas informações e posterior controlo.

Keywords Electric vehicle; Electric mobility; Monitoring; Radio frequency; Microcontrollers.

Abstract Given the current situation and considering the growing environmental and sustainability concerns, occurs the development of new technologies of mobility, such as electric vehicles. The problems related to low autonomy of electric vehicles and the lack or deterioration of public charging infrastructure require drivers to a exhaustive planning of use of the vehicle.
To try to overcome these problems , there is the present work , in which It proposes the creation of a prototype of a storage system and electric power transmission , which enables the monitoring and control a battery network to subsequently supply electric vehicles. In order to facilitate the tasks of monitoring and management system is available to the user a local application, enabling visualization of various information and subsequent monitoring.

Conteúdo

Conteúdo i

Lista de Figuras iii

Lista de Tabelas v

Lista de acrónimos vii

1 Introdução 1
- 1.1 Enquadramento e Motivação . . . 1
- 1.2 Objetivos . . . 2
- 1.3 Organização do documento . . . 2

2 Mobilidade Elétrica 3
- 2.1 Consumo de Energia . . . 3
- 2.2 Parque Automóvel Português . . . 5
- 2.3 Mobilidade Elétrica em Portugal . . . 7
- 2.4 Veículo Elétrico . . . 7
  - 2.4.1 Tipos de Veículos Elétricos . . . 8
- 2.5 Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica . . . 9
  - 2.5.1 Caraterísticas Específicas das Baterias . . . 10
  - 2.5.2 Tipos de Baterias . . . 10
  - 2.5.3 Aplicações de Segunda Vida . . . 12
- 2.6 Modos de Carregamento . . . 12
- 2.7 Sistema de Gestão de Baterias . . . 14
  - 2.7.1 Sistemas Comerciais . . . 15
- 2.8 Tecnologias Sem Fios . . . 18
  - 2.8.1 Bluetooth . . . 18
  - 2.8.2 ZigBee . . . 19
  - 2.8.3 Módulo Radiofrequência . . . 19
  - 2.8.4 Análise e conclusão . . . 20

3 Solução e Implementação Proposta 21
- 3.1 Solução Proposta . . . 21
- 3.2 Implementação da Solução Proposta . . . 23
  - 3.2.1 *Hardware* . . . 23
  - 3.2.2 Arquitetura do sistema . . . 32

3.2.3 Síntese do protótipo 34
3.2.4 *Software* 37
3.3 Resultados e Discussão 49
3.3.1 Comunicação 49
3.3.2 Medições e erros relativos 50
3.3.3 Testes ao funcionamento do sistema 54

4 Conclusões e Trabalho Futuro **59**
4.1 Conclusões 59
4.2 Trabalho Futuro 60

Bibliografia **61**

Anexos **67**

Anexo A Bateria **69**

Anexo B Comunicação módulo nRF24L01+ **71**

Anexo C Sensor de tensão **73**

Lista de Figuras

2.1 Consumo mundial de energia por combustível [3] 4
2.2 Consumo de energia final por setor em Portugal (2013) [7]. 5
2.3 Evolução do número de veículos rodoviários motorizados de passageiros em Portugal [8]. 6
2.4 Evolução da venda de veículos ligeiros de passageiros em Portugal [8]. . . 6
2.5 Desempenho das diferentes tecnologias [19]. 11
2.6 Evolução da densidade de energia das baterias ao longo dos anos [19]. . . . 11
2.7 Carregamento por indução magnética [23]. 13
2.8 Arquitetura genérica de um BMS [26]. 14
2.9 Arquitetura do sistema *"Sentinel"* [27]. 15
2.10 Arquitetura do sistema *"Orion BMS"* [28]. 17

3.1 Perspetiva geral do sistema 22
3.2 Esquema do *hardware* implementado nos diferentes módulos 24
3.3 PIC18F2520 e diagrama de pinos [36] 24
3.4 Esquema de ligações entre o microcontrolador e o módulo nRF24L01+ . . 26
3.5 Estrutura das mensagens enviadas entre microcontroladores 26
3.6 Componentes de um relé eletromecânico [39] 27
3.7 Sensor de efeito *Hall* com encapsulamento em circuito integrado [41] . . . 28
3.8 Módulo sensor de corrente ACS712ELC-05B-T [42] 29
3.9 *Hardware implementado nos módulos* 31
3.10 "Módulo central" 32
3.11 Arquitetura do sistema 33
3.12 Esquema das ligações entre os "módulos bateria" 34
3.13 Diagrama funcional do sistema 35
3.14 Protótipo 36
3.15 Fluxograma do *software* dos "módulos bateria". 38
3.16 Fluxograma do *software* geral dos "módulos carga e descarga". 39
3.17 Fluxograma da função de medição de energia. 40
3.18 Fluxograma do *software* do "módulo central". 41
3.19 Janela de autenticação do utilizador. 42
3.20 Janela principal da aplicação. 43
3.21 Janela de configuração da porta série. 43
3.22 Janela de visualização do estado da matriz 0. 44
3.23 Janela de configuração do carregamento. 45
3.24 Janela de configuração da saída. 45

3.25 Janela de troca de baterias. 46
3.26 Exemplo de registo na "Tabela_Bateria" da base de dados 47
3.27 Exemplo de registo na "Tabela_InOut" da base de dados 47
3.28 Exemplo de registo da "Tabela_Cliente" da base de dados 48
3.29 Exemplo de registo da "Tabela_Fatura" da base de dados 49
3.30 Periodicidade de registo na base de dados 50
3.31 Valores de tensão nos "módulos bateria" 51
3.32 Valores de tensão nos "módulos carga e descarga" 52
3.33 Medição dos valores de corrente nos "módulos bateria" 53
3.34 Descarga das baterias 54
3.35 Consumo de energia elétrica da operação de carga 55
3.36 Evolução da tensão nas baterias durante a operação de carga 56
3.37 Consumo de energia elétrica da operação de descarga 57
3.38 Evolução da tensão nas baterias durante a operação de descarga 57

A.1 Bateria 69

B.1 Processo de comunicação através do módulo nRF24L01+ num *Master* . . 71
B.2 Processo de comunicação através do módulo nRF24L01+ num *Slave* . . . 72

C.1 Esquema do circuito dos sensores IL300 73

Lista de Tabelas

2.1 Comparação entre os diferentes tipos de VEs e veículos com MCI 9
2.2 Comparação dos diferentes tipos de carregamento [19] 13
2.3 Comparação das diferentes tecnologias de comunicação sem fios 20

3.1 Especificações do relé implementado [40] 28
3.2 Especificações do sensor de temperatura MCP9700 [45] 30
3.3 Caraterísticas dos sensores 30
3.4 Erros de medição dos valores de tensão nos "módulos bateria" 51
3.5 Erros de medição dos valores de tensão nos "módulos carga e descarga" . . 52
3.6 Erros de medição dos valores de corrente "nos módulos bateria" 53
3.7 Erros de medição dos valores de corrente nos "módulos carga e descarga" . 54

Lista de acrónimos

AC Corrente Alternada

ADC *Analog to Digital Converter*

BMS *Battery Management Systems*

CAN *Controller Area Network*

DC Corrente Contínua

DoD Profundidade de Descarga

EDR *Enhanced Data Rate*

EEPROM *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*

EIA *Energy Information Administration*

GEE Gases de Efeito Estufa

GPS Global Positioning System

HS *High Speed*

I^2C *Inter-Integrated Circuit*

ISV Imposto Sobre Veículos

IUC Imposto Único de Circulação

IVA Imposto sobre Valor Acrescentado

LEDs *Light Emitting Diodes*

MCI Motores de Combustão Interna

NIF Número de Identificação Fiscal

ONU Organização das Nações Unidas

RAM *Random Access Memory*

SoC Estado de Carga

SPI *Serial Peripheral Interface*

SQL *Structured Query Language*

TTL *Transístor-Transístor Logic*

UART *Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter*

UE União Europeia

USART *Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver/ Transmitter*

USB *Universal Serial Bus*

VE Veículo Elétrico

VEB Veículos Elétricos com Baterias

VEH Veículos Elétricos Híbridos

VEs Veículos Elétricos

ZC ZigBee Coordenador

ZED Zigbee Dispositivo Final

ZR Zigbee Router

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

Atualmente é fundamental encontrar o equilíbrio entre as necessidades do Homem e o dever de preservar e proteger o planeta. O Homem equipara os recursos petrolíferos aos bens essenciais, causando a sua exploração e consumo excessivos, que provocam graves alterações ambientais.

Um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos petrolíferos é o setor dos transportes, que para além de causar a dependência energética dos países é responsável pelo aumento da poluição emitindo GEE (*Gases de Efeito Estufa*), que geram alterações climáticas e consequente aquecimento global, colocando o Homem na presença de enormes desafios ambientais e de sustentabilidade.

Deste modo, as crescentes preocupações ambientais e de sustentabilidade impulsionam o desenvolvimento de novas tecnologias de mobilidade, como os VEs (*Veículos Elétricos*), e a integração das energias renováveis como alternativa aos combustíveis fósseis. Os VEs apresentam-se, assim, como uma alternativa verde aos veículos movidos a MCI (*Motores de Combustão Interna*), isto porque são livres de emissões e energicamente mais eficientes na sua deslocação.

Embora apresentem as caraterísticas anteriormente referidas, os VEs não se massificaram devido a dois fatores: o elevado preço e a reduzida autonomia. Com base nisto, a UE (*União Europeia*) tem vindo criar políticas de apoio a soluções na mobilidade elétrica. No caso de Portugal, a rede MOBI.E (Rede Nacional de Mobilidade Elétrica) conta com 1300 pontos de carregamento de acesso público [1], em que "No final de 2014, a rede contava com 884 utilizadores, mais 52% face ao ano anterior. Devido ao abandono a que tem sido votado, muitos dos postos da rede não estão a funcionar. Ao mesmo tempo, os prometidos 50 carregadores rápidos continuam a ganhar pó no armazém desde 2011. O presidente da Mobi.E prometeu que a rede vai ser alvo de manutenção na primeira metade do próximo ano. Os 50 carregadores rápidos também deverão ser instalados no primeiro semestre de 2016. O mau estado da rede ameaça também travar a expansão em Portugal do carro elétrico e dos híbridos "plug in". Para este ano, as estimativas apontam para um crescimento de 265% das vendas, para um total de mil veículos." [2]

Assim sendo, tendo em conta a crescente representação dos VEs na quota de mercado automóvel é importante estudar e compreender o seu impacto. Como já referido, problemas como a falta de autonomia dos VEs e a não existência e degradação de infraestruturas públicas de carregamento limitam a sua massificação. Para tentar colmatar

estes problemas, surge a presente dissertação, na qual se propõe a criação de um sistema de armazenamento e transporte de energia elétrica, que possibilita a monitorização e controlo de uma rede de baterias para, posteriormente, efetuar o carregamento de VEs. Apesar de, atualmente, já existirem sistemas de gestão de baterias, denominados BMS (*Battery Management Systems*), estes não são aplicados ao transporte de energia elétrica e consequente carregamento de VEs.

1.2 Objetivos

Como foi referido anteriormente, com o trabalho a desenvolver na dissertação tenciona-se aumentar a rede nacional de postos de abastecimento, aumentado a autonomia dos VEs e reduzindo os tempos de espera no seu carregamento.

Para além disso, pretende-se o armazenamento de eletricidade gerada em qualquer central de produção de energia renovável podendo ser visto como uma oportunidade para os operadores de rede elétrica controlarem a geração de energia intermitente.

Com vista à concretização destes objetivos foi proposto, como solução, o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de armazenamento e transporte de energia elétrica. Para o efeito optou-se pela divisão do sistema em duas unidades. Uma delas será responsável pela aquisição das variáveis do sistema (tensão, corrente e temperatura) e atuação sobre este, enquanto a outra será responsável pela receção desta informação, possibilitando ao utilizador a sua visualização e posterior controlo. A transmissão de informação entre ambas as partes terá de ser estabelecida por comunicação sem fios.

Para facilitar o utilizador pretende-se desenvolver uma aplicação para o computador, na qual este poderá monitorizar e guardar numa base de dados as diversas informações relevantes do sistema. Para além disso possibilitará operações de carga, descarga e troca de baterias.

1.3 Organização do documento

A dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos: a introdução, a mobilidade elétrica, a solução e implementação proposta e as conclusões.

O primeiro capítulo é composto pela introdução. Neste é apresentado o enquadramento teórico da temática em estudo, os respetivos objetivos e âmbito do protótipo desenvolvido.

O segundo capítulo denomina-se mobilidade elétrica. Este abrange os conceitos inerentes ao protótipo, bem como a apresentação de diversos sistemas de gestão de baterias presentes no mercado. Além disso, é efetuada uma pesquisa e descrição das tecnologias sem fios.

No terceiro capítulo, solução e implementação proposta, são abordadas as restrições e funcionalidades que o sistema a desenvolver deve ter, a descrição da arquitetura e o funcionamento do sistema, especificando o *hardware* e *software* implementado.

O capítulo quatro expõe as conclusões desta dissertação e, refere também, sugestões para trabalhos futuros que consiste no que poderá ser feito no seguimento deste projeto.

Capítulo 2

Mobilidade Elétrica

Neste capítulo é apresentado o estado de arte, tendo em conta o problema apresentado no capítulo anterior. Para o efeito, foi efetuada uma pesquisa acerca dos recursos energéticos, bem como do parque automóvel português, de forma a contextualizar e enquadrar o problema.

De seguida, mostra-se a mobilidade elétrica como solução para a mobilidade terrestre, assegurando a deslocação com reduzidos impactos no meio ambiente e viabilizando o desenvolvimento sustentável do ser humano. Além disso, potencia o desenvolvimento tecnológico de sistemas de gestão de rede, das infraestruturas energéticas e dos componentes automóveis.

Apesar desta dissertação não ser sobre veículos elétricos, é relevante fazer uma pequena análise sobre a sua história e desenvolvimento de forma a obter uma perspetiva geral dos seus constituintes. Dentro deste tema tem-se um maior foco nas tecnologias existentes, pois são essenciais para um bom desenvolvimento do sistema a realizar.

Posteriormente serão abordados os sistemas de gestão de baterias, onde se explicará as suas funções principais e onde serão apresentadas algumas soluções que atualmente existem no mercado. Serão, ainda, descritos os respetivos modos de funcionamento e tecer-se-á uma pequena análise dos sistemas apresentados.

Por fim, será exposto um estudo ao nível das soluções existentes de tecnologias de comunicação que poderão ser implementadas num sistema de gestão de baterias.

2.1 Consumo de Energia

Nos últimos anos a procura energética mundial aumentou,e segundo um estudo publicado em 2013 pela EIA (*Energy Information Administration*) espera-se que o consumo de energia cresça 56% entre 2010 e 2040 [3], visível na figura 2.1, através do aumento do consumo das diversas fontes de energia.

No que diz respeito às fontes de energia, e tendo em conta as políticas energéticas existentes, as renováveis apresentam o maior crescimento, cerca de 2,5% por ano, mas apesar dos esforços das entidades o uso dos combustíveis fósseis continua a ser a principal fonte de energia primária. Contudo, ainda que atualmente, através de novas tecnologias, se consiga explorar recursos não renováveis que outrora eram inacessíveis, não significa que estes sejam infinitos, pelo que se deve dar ênfase à investigação e exploração de novas fontes de energia alternativas.

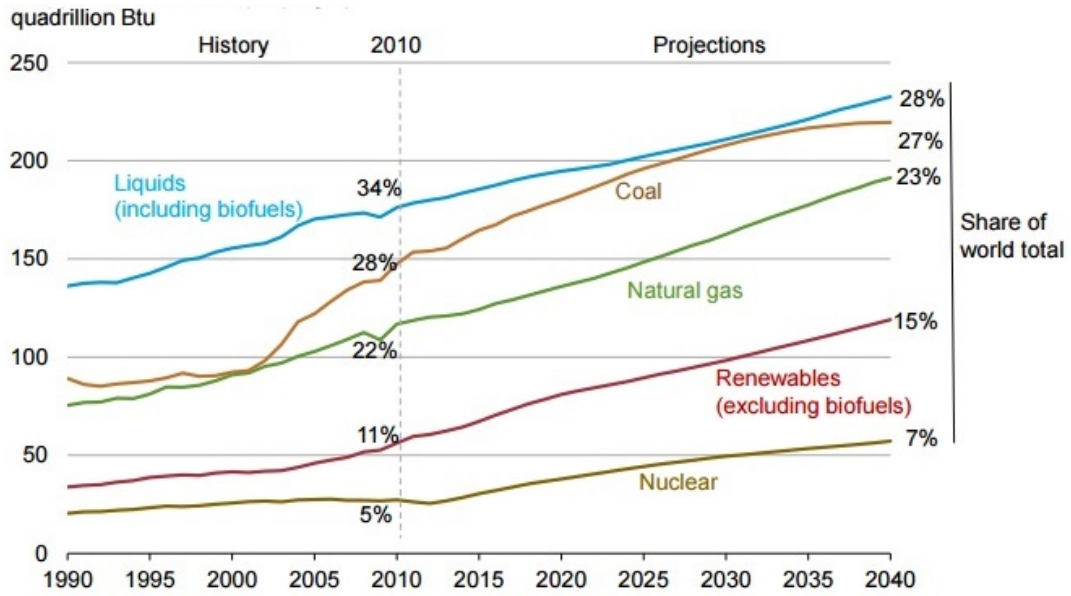


Figura 2.1: Consumo mundial de energia por combustível [3]

Assim, conjugando o facto da ONU (*Organização das Nações Unidas*) estimar que a população mundial deverá aumentar para 9,7 mil milhões de pessoas em 2050, contra os atuais 7,3 mil milhões de pessoas [4], torna-se evidente a necessidade de uma revolução no sector energético. Para dar resposta a este aumento da procura temos de ser mais eficientes e poupar energia.

Portugal é um país com parcos recursos energéticos fósseis endógenos e, tal como o resto do mundo, cerca de 75% da energia primária provêm destes, fazendo com que seja um país com elevada dependência energética do exterior. Apesar disso, verifica-se um crescimento na utilização de energia renovável, contribuindo para a estabilidade e segurança de abastecimento do país, a diminuição da dependência energética exterior e redução da despesa pública [5].

O consumo de energia final em Portugal foi de 15.167 ktep em 2013, menos 17,1% em relação a 2008, retração esta provocada pela evolução negativa da economia mundial [6]. O setor dos transportes é o maior consumidor de energia, contribuindo com 36%, como se verifica na figura 2.2, e aliado à elevada geração de emissões de gases de efeito estufa torna-se evidente o peso que este possui num processo de sustentabilidade.

Estando intrinsecamente ligado ao consumo de combustíveis derivados do petróleo o setor dos transportes é vulnerável às flutuações dos preços internacionais. Reduzir o consumo destes combustíveis conduziria ao decréscimo da dependência energética do exterior e da emissão de GEE, indo de acordo com as políticas adotadas pelos países da UE. Desta forma, a introdução de veículos menos poluentes e mais eficientes, como os veículos elétricos, ajudaria a diminuir o consumo energético, que resultariam em benefícios ambientais.

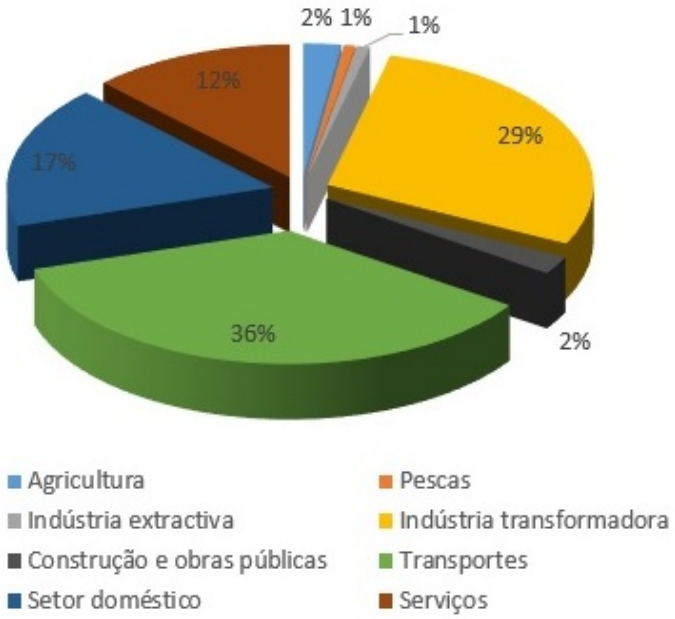


Figura 2.2: Consumo de energia final por setor em Portugal (2013) [7].

2.2 Parque Automóvel Português

Em Portugal, os veículos ligeiros são o meio de transporte mais utilizado, desempenhando um papel de elevada importância no quotidiano da população. Em 2013, existiam cerca de 5.615.079[1] presumivelmente em circulação, dos quais 4.327.478 são veículos ligeiros de transporte de passageiros, figura 2.3. Também de notar o envelhecimento do parque de veículos ligeiros tendo aumentado para uma média de 11,5 anos, sendo que 60,1% das viaturas ligeiras de passageiros possuem mais de 10 anos [8].

Depois de alguns anos em que os valores de vendas anuais de veículos ligeiros de transporte de passageiros apresentaram tendência negativa, a partir de 2013 verificou-se uma ligeira recuperação na comercialização, confirmada por um aumento substancial em 2014, na ordem de 49,9%, face ao ano de 2012 visível na figura 2.4. Estes valores de vendas vão confirmar o ligeiro aumento verificado no número de veículos ligeiros, apresentados na figura 2.3.

Tendo em consideração a população residente em Portugal, cerca de 10.374.822 habitantes em finais de 2014 [9], e o número de veículos ligeiros de passageiros pode-se aferir que existe um carro por cada dois habitantes, demonstrando a sua extrema importância na vida dos portugueses.

[1]Parque com exclusão de ciclomotores, motociclos e tratores agrícolas; veículos presumivelmente em circulação: compareceram a pelo menos umas das duas últimas inspeções obrigatórias

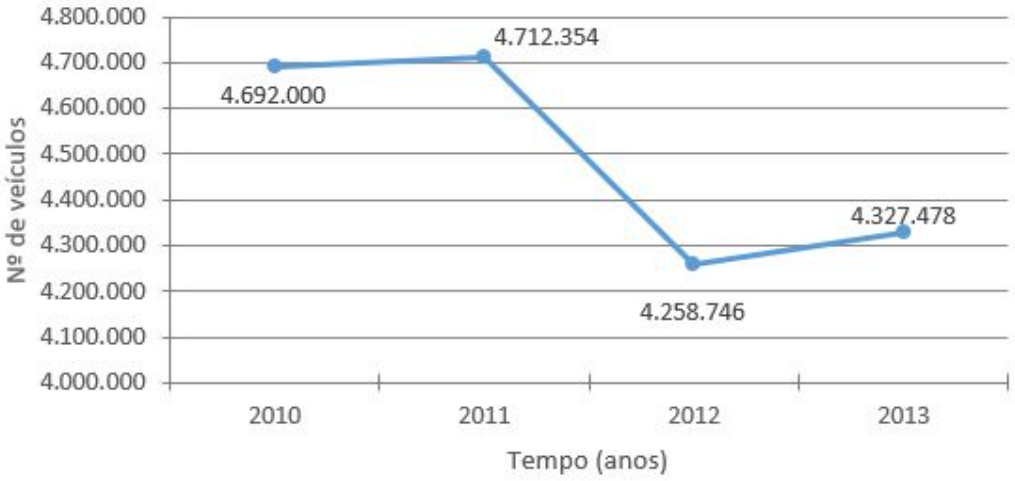


Figura 2.3: Evolução do número de veículos rodoviários motorizados de passageiros em Portugal [8].

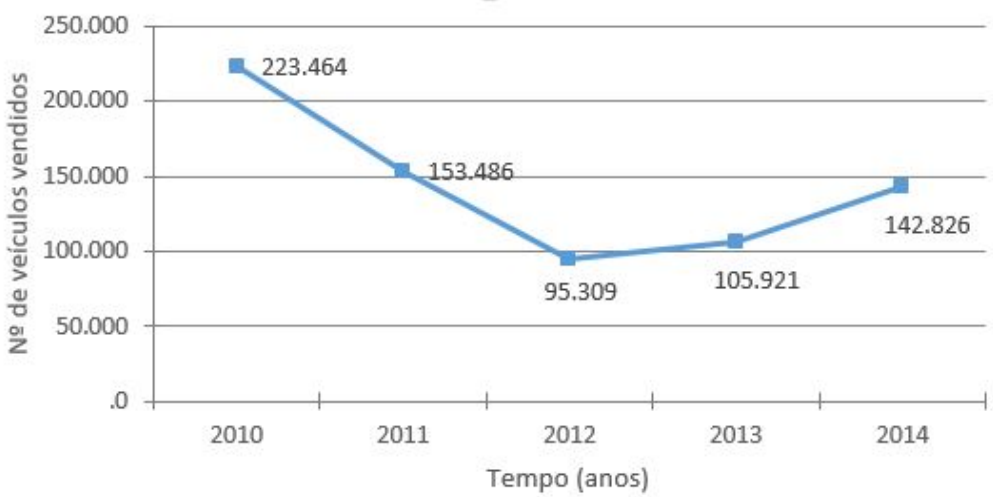


Figura 2.4: Evolução da venda de veículos ligeiros de passageiros em Portugal [8].

2.3 Mobilidade Elétrica em Portugal

A mobilidade elétrica surge da consciencialização da sociedade relativamente à sustentabilidade energética e ambiental, como proposta a nível dos transportes. É perante os objetivos de redução do consumo de combustíveis fósseis e emissões de GEE que a mobilidade elétrica vai ao encontro de uma melhoria da qualidade de vida.

Em Portugal, o governo aprovou, a 20 de Fevereiro de 2009, o Programa para a Mobilidade Elétrica (Programa MOBI.E) através da Resolução do Conselho de Ministros n.º20/2009 [10].

Com este programa o governo pretendia a introdução e massificação do VE (*Veículo Elétrico*), refletindo-se em questões: energéticas, na redução da dependência energética externa de combustíveis fósseis; ambientais, na redução da poluição atmosférica e das emissões de CO_2 e de ruído; e económico-sociais, na redução da fatura de mobilidade das famílias e empresas que optem por esta solução alternativa de mobilidade.

Como resultados, esperava-se que a rede MOBI.E contasse com 1300 pontos de carregamento lento e 50 de carregamento rápido, divididos por 25 municípios, em 2011 [11]. Como não foram alcançados, em 2014 o governo adotou uma nova estratégia, que passava pela liberalização da concorrência na comercialização e operação de pontos de carregamento.

Na cimeira de Paris sobre alterações climáticas, que decorreu em finais de 2015, Portugal comprometeu-se "a reduzir, até 2030, os gases que contribuem para o efeito de estufa entre 30% a 40%" e ao nível dos transportes pretende dinamizar a mobilidade elétrica, retomando o programa MOBI.E [12]. Assim sendo, no ano de 2016, o governo tenciona concluir a rede MOBI.E, esquecida nos últimos quatro anos, através da instalação dos postos de carregamento em falta e da atualização da tecnologia nos postos já existentes [13].

Para além disso, o Orçamento de Estado para 2016 "prevê incentivos fiscais que permitem baixar o custo de um veículo elétrico até cerca de 30%, através nomeadamente da isenção do ISV (*Imposto Sobre Veículos*) e da isenção do IUC (*Imposto Único de Circulação*), a que acrescem no caso de empresas a isenção da Tributação Autónoma e a dedução do IVA (*Imposto sobre Valor Acrescentado*) " [14], que visam aumentar a aquisição de VEs.

Posto isto, tem-se em vista a construção de uma sociedade sustentável a nível energético e ambiental, em que Portugal tem feito uma aposta contínua na mobilidade elétrica, pois como o Ministro do ambiente, João Pedro Matos Fernandes afirmou "o início do fim da utilização dos combustíveis fósseis como fonte de energia foi decidido" [12].

2.4 Veículo Elétrico

Por definição, um veículo designado veículo elétrico distingue-se dos restantes ao utilizar um sistema de propulsão elétrica. Ou seja, a energia mecânica responsável pela propulsão é fornecida por um motor elétrico. Este tipo de veículos foram desenvolvidos aproximadamente ao mesmo tempo que os veículos com motores de combustão interna, mas devido às crescentes necessidades de mobilidade, autonomia e baixo preço do petróleo no final do século XIX, levaram ao abandono da produção de VEs por veículos com MCI. No entanto, no final do século XX, verificou-se novo interesse no desenvolvimento deste

tipo de tecnologia, impulsionado pela crescente consciencialização para com os problemas ambientais à escala global e a crise energética existente [15].

Atualmente, conjugando os problemas anteriormente mencionados e enquadrando a necessidade dos países promoverem políticas sustentáveis, proporcionando uma melhor qualidade de vida aos seus cidadãos é evidente que os VEs tornaram-se uma alternativa credível e viável para responder aos problemas energéticos no setor dos transportes.

Os VEs apresentam diversas vantagens tais como:

- Aproximadamente zero-emissões em utilização, sendo que por zero-emissões entende-se zero ruídos, zero emissões poluentes e zero emissões de GEE. As emissões poluentes, em particular de dióxido de carbono (CO_2), associadas aos VEs dependem essencialmente de como é produzida a eletricidade;
- Maior eficiência do motor, consumindo entre 0,1 e 0,23 kWh por quilómetro, enquanto que para um veículo a gasolina um consumo médio de 10l/100km traduz-se em 0,9 kWh por quilómetro, consideravelmente menos eficiente que um VE;
- A travagem regenerativa explora a capacidade que o motor elétrico tem de poder funcionar como gerador. Durante a travagem o motor elétrico produz energia elétrica, carregando as baterias, permitindo aumentar a autonomia;
- Custos de manutenção menores, pois têm motores com menos peças móveis e não necessitam de mudanças de óleo frequentes.

Mas também apresentam algumas desvantagens, nomeadamente problemas relacionados com os dispositivos de armazenamento, autonomia e tempo de carga. Apesar do contínuo desenvolvimento tecnológico e das novas gerações de veículos elétricos usufruírem de um melhor desempenho ao nível de autonomia e tempo de (re)carregamento, ainda se tem de considerar as dimensões e peso das baterias, bem como o seu tempo de vida útil, de aproximadamente 200.00 km e o custo elevado associado à troca das mesmas. Outra grande desvantagem é o custo de aquisição de um veículo elétrico, pois são veículos produzidos em pequenas séries e possuem componentes de custo elevado (baterias), encarecendo o preço final [16, 17].

2.4.1 Tipos de Veículos Elétricos

Os diferentes tipos de veículos elétricos diferenciam-se pelo mecanismo gerador ou sistema de armazenamento de energia elétrica. Existem três grupos principais de veículos elétricos [17]:

- VEB (*Veículos Elétricos com Baterias*), movidos apenas com motor elétrico que é alimentado por energia elétrica proveniente do sistema de armazenamento de energia, baterias, e capazes de recarregar diretamente na rede elétrica;
- VEH (*Veículos Elétricos Híbridos*), caraterizam-se por usufruir de duas fontes de energia distintas para fornecer a energia necessária à locomoção. Tal como os VEB possuem baterias que armazenam energia elétrica e a fornecem ao motor elétrico que, por sua vez, aciona as rodas, porém também utilizam um motor de combustão interna que pode acionar diretamente as rodas ou fornecer energia mecânica a um gerador elétrico;

- Veículos elétricos de células de combustível, utilizam um dispositivo eletroquímico (células de combustível) para converter a energia química do hidrogénio em energia elétrica. Depois essa energia é usada na propulsão do veículo ou armazenada nas baterias instaladas a bordo.

Recentemente fala-se numa nova versão de veículos híbridos capazes de recarregar as baterias diretamente à rede elétrica, os veículos elétricos híbridos *plug-in*.

Na tabela 2.1, baseada em *C.C.Chan* [17], compara-se os diferentes tipos de veículos elétricos e os veículos com motores de combustão interna.

Tabela 2.1: Comparação entre os diferentes tipos de VEs e veículos com MCI

Tipos de VEs	Veículos elétricos de baterias	Veículos elétricos híbridos	Veículos elétricos de células de combustível	Veículos com motor de Combustão interna
Propulsão	- Motor elétrico	- Motor elétrico - Motor de combustão interna	- Motor elétrico	- Motor de combustão interna
Sistema de energia	- Bateria - Supercondensadores	- Bateria - Supercondensadores - Motor de combustão interna	- Células de combustível	- Sistema de MCI
Fonte de energia & Infraestrutura	- Energia da rede elétrica	- Postos de abastecimento de combustível - Energia da rede elétrica	- Hidrogénio - Metanol ou gasolina - Etanol	-Estações de serviço
Características	- Zero-emissões - Elevada eficiência energética - Independência de petróleo - Autonomia entre 100 e 200 km - Custo inicial elevado	- Baixas emissões poluentes - Maior eficiência comparado com os veículos com MCI - Alta autonomia - Dependência do petróleo - Estrutura complexa - Custo inicial elevado	- Emissão poluente nula ou muito reduzida - Alta eficiência energética - Autonomia s atisfatória - Independência do petróleo - Elevado custo	- Altas emissões de poluentes - Baixa eficiência energética - Dependente de fontes de energia não renovável - Elevada autonomia - Maior desempenho (potência e velocidade) - Menor custo inicial no geral
Problemas / Desvantagens	- Gestão e dimensões das baterias - Infraestruturas de carregamento - Custo	- Gestão de múltiplas fontes de energia - Depende do ciclo de condução - Gestão e dimensões da bateria	- Custo das células de combustível - Processamento de combustível - Sistema de reabastecimento de combustível	- Poluição - Futura escassez de fontes de energia

2.5 Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica

Existe uma vasta gama de tecnologias com suporte mecânico, eletroquímico e físico, disponíveis para armazenar energia elétrica, fornecendo um largo espectro de capacidades para ambientes de diferentes escalas e aplicabilidades de armazenamento de energia elétrica, nomeadamente:

- Baterias;
- Células de combustível;
- *Flywheels*;
- Supercondensadores.

Neste caso de estudo o principal sistema de armazenamento são as baterias, sendo um fator de extrema importância no desenvolvimento e comercialização dos veículos elétricos. Contrariamente aos veículos elétricos que são alimentados durante a sua locomoção

(ex.: comboios e autocarros elétricos), os veículos elétricos de transporte de passageiros precisam de transportar a energia necessária à sua deslocação. Por definição, bateria é um dispositivo eletroquímico que consiste na união de duas ou mais células que convertem energia química em energia elétrica. Em que cada célula é composta por um elétrodo positivo (cátodo) e negativo (ânodo) imerso num eletrólito e é a reação química entre os elétrodos e o eletrólito que gera corrente DC (*Corrente Contínua*) [17].

2.5.1 Caraterísticas Específicas das Baterias

Após exposto o funcionamento básico de uma bateria, é pertinente enumerar e explicar sucintamente as caraterísticas que mais serão referidas ao longo do trabalho e, por isso, mais significantes [18]:

Capacidade (Ah)-Quantidade total de corrente por unidade de tempo que uma célula ou bateria é capaz de fornecer.

SoC (*Estado de Carga*)(%)- Relação entre a tensão máxima esperada nos terminais da bateria (valor dado pelo fabricante) e a tensão atual. O estado de carga de uma bateria não deve baixar dos 40% pois pode danificar a bateria e encurtar o ciclo de vida.

DoD (*Profundidade de Descarga*)(%)-Representa a percentagem de capacidade retirada à bateria face à capacidade nominal. Uma profundidade de descarga muito grande também diminui o ciclo de vida da bateria.

Energia específica (Wh/kg)-Quantidade de energia (Wh) por unidade de massa (kg) que uma bateria pode fornecer para uma dada taxa de descarga.

Densidade de energia Volumétrica(Wh/l)-O mesmo que a energia específica mas quantifica a energia por unidade de volume (l).

Densidade de potência (W/kg)-Potência (W) que a bateria pode fornecer por unidade de massa (kg), traduz a capacidade de aceleração do veículo;

Ciclo de vida-Representa o número de vezes que uma bateria pode ser carregada e descarregada até que a sua capacidade de carga não consiga ir além de 80% da capacidade de carga nominal.

Taxa de auto descarga(%)-Percentagem de carga perdida pela bateria, mesmo que esta não se encontre em funcionamento, é importante que seja um valor baixo.

2.5.2 Tipos de Baterias

Atualmente existem diversos tipos de baterias usadas na indústria automóvel, em que as principais são: hidreto metálico de níquel (Ni-MH), iões de lítio (Li-ion), chumbo-ácido e níquel-cádmio (Ni-Cd). As seguintes figuras ilustram o desempenho, figura 2.5, bem como o aumento da densidade de energia ao longo dos anos, figura 2.6, dos diferentes tipos de bateria.

Em termos de desenvolvimento acredita-se que as baterias de eletrólito ácido tenham atingido o seu potencial máximo, enquanto isso as baterias de iões de lítio encontram-se ainda em fase de desenvolvimento, apresentando melhores resultados de densidade de

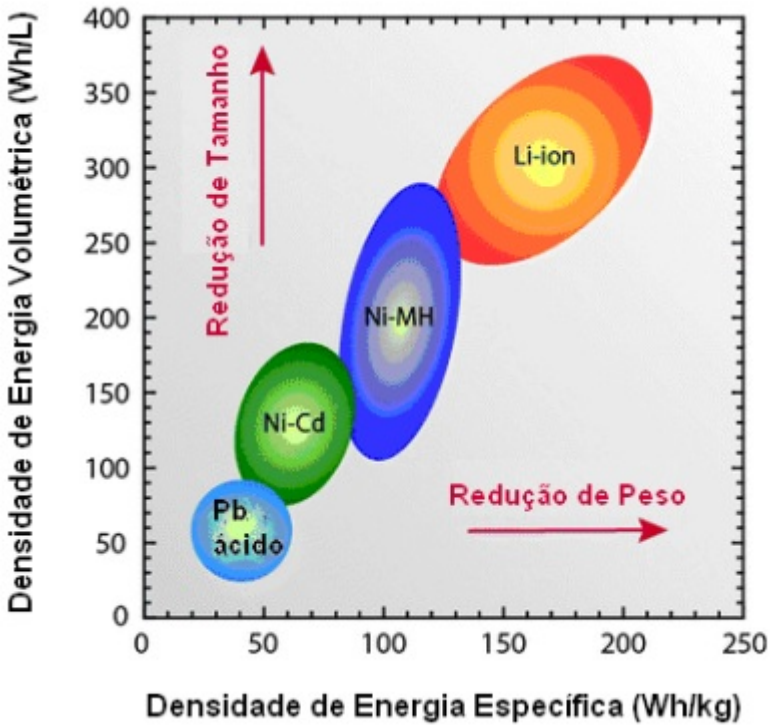


Figura 2.5: Desempenho das diferentes tecnologias [19].

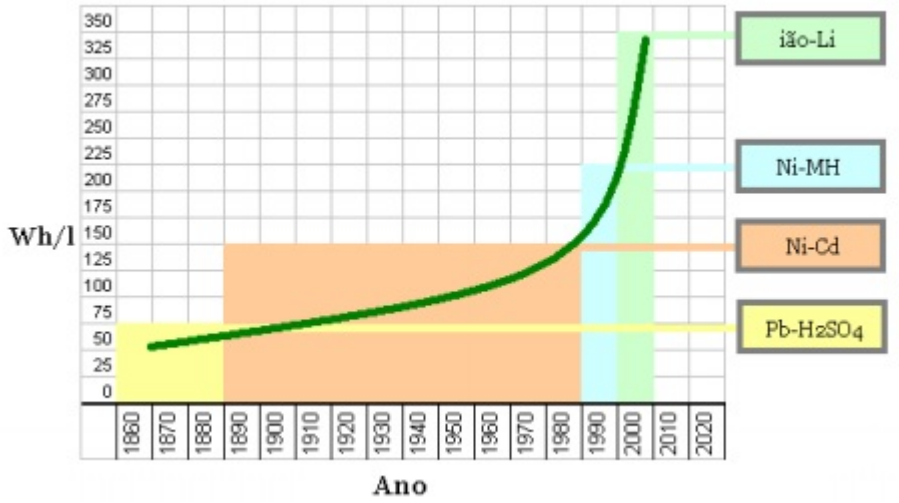


Figura 2.6: Evolução da densidade de energia das baterias ao longo dos anos [19].

energia que as de NI-MH, como se observa na figura 2.5. Traduzindo-se numa crescente aposta na investigação e desenvolvimento por parte dos fabricantes de automóveis, tanto para veículos elétricos de baterias como para veículos híbridos [20].

Como as baterias de iões de lítio são as que estão em destaque e visto que se pretende ter um sistema de armazenamento de energia elétrica compatível com o de um VE, de modo possibilitar a troca de baterias, as baterias de iões de lítio, ou similares a esta, serão o tipo de bateria escolhido para a implementação no protótipo.

2.5.3 Aplicações de Segunda Vida

De modo a tornar os veículos elétricos mais apetecíveis é necessário reduzir o custo das baterias, mas também é indispensável aumentar o valor de uma bateria usada, encontrando formas de a reutilizar em aplicações de segunda vida.

Ao longo da sua vida como fonte de energia interna de um VE, uma bateria irá perder alguma da sua capacidade de armazenamento resultando numa diminuição da autonomia (considera-se descontinuada quando apenas retêm 70% da sua capacidade inicial) [21]. Este fator pode influenciar o condutor a proceder à sua substituição, no entanto, apesar da bateria já não possuir as propriedades necessárias para o uso continuado num VE, pode ainda ser utilizada em aplicações como armazenamento de energia elétrica da rede.

Com esta possibilidade, as baterias podem desempenhar um papel de grande relevo em aplicações ligadas à área das energias renováveis. Em que a energia produzida em excesso pelos diferentes tipos de energia renovável em vez de ser desperdiçada é aproveitada para carregar as baterias que por sua vez podem injetá-la na rede, de acordo com as solicitações dos consumidores, ou até ser usada no carregamento de veículos elétricos.

Por isso, a implementação de um sistema de gestão de baterias (BMS), que controle o processo de carga e descarga, e a existência de um número de veículos elétricos considerável tornam o armazenamento de energia elétrica através de baterias viável.

2.6 Modos de Carregamento

Neste momento existem quatro tecnologias de carregamento de veículos elétricos: carregamento lento, carregamento rápido, troca de baterias e carregamento por indução magnética.

- **Carregamento lento**

Este método é indicado para pontos de carregamento privado (ex.: habitações) pois demora entre 6 a 8 horas a recarregar totalmente as baterias de um VE com uma potência disponibilizada de 3.68 kW (230 V, 16 A). Permite ao utilizador carregar durante a noite usufruindo tarifas elétricas mais económicas.

- **Carregamento rápido**

Modo de carregamento que será principalmente utilizado em pontos de carregamento público e que possibilita o carregamento de 80% da bateria em menos de meia hora. O carregamento rápido também utiliza a instalação da rede elétrica mas usando uma tomada trifásica que pode disponibilizar até 43,5 kW.

- **Carregamento por troca de baterias**

Uma solução apresentada pela empresa *Better Place* que consistiria em pontos de serviço onde mecanismos robóticos retiravam e armazenavam para carregamento as baterias dos VEs, trocando estas por baterias já carregadas. Processo que demoraria menos de 10 minutos evitando tempos de espera elevados por parte dos condutores de veículos elétricos. Esta empresa faliu em 2013 e seus postos de troca de baterias encontram-se fechados mas, atualmente, a ideia persiste e pode vir a ser aproveitada por outras empresas, como a *Tesla* [22].

- **Carregamento por indução magnética**

Este sistema permite o carregamento da bateria do veículo sem que haja qualquer ligação por cabo. Para tal, o condutor simplesmente estaciona o automóvel sobre uma placa colocada no chão, que irá gerar um campo magnético induzindo corrente elétrica numa segunda placa presente no veículo elétrico carregando as baterias, como se pode observar na figura 2.7.

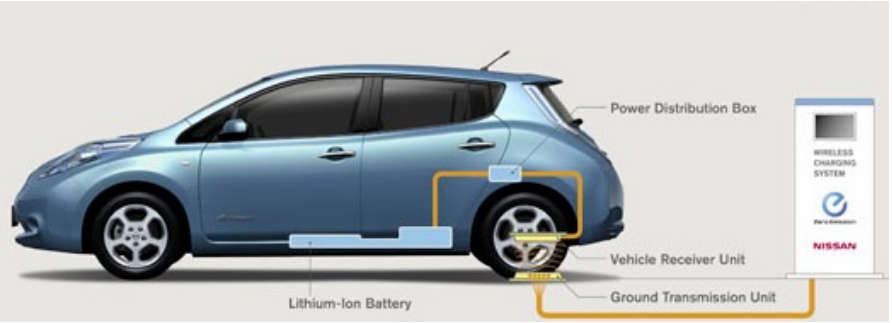


Figura 2.7: Carregamento por indução magnética [23].

De modo a facilitar o entendimento dos diferentes tipos de carregamento, a tabela 2.2 resume as características de cada um deles.

Tabela 2.2: Comparação dos diferentes tipos de carregamento [19]

Tipo de carregamento	**Lento/ Indução magnética**	**Rápido**	**Troca de baterias**
Utilização	Ida e volta à distância de uma carga	Carga durante trajeto	Carga durante o trajeto
Local de carregamento	Casa Local de trabalho Base da frota	Área de serviço	Área de serviço
Saída máxima	16 - 32 A / 230 V (3,6 - 7,36 kW)	Até 200 A / 400 V (43,5 kW)	-
Requesitos	100% em 8h	80% em menos de 30 minutos	100% em menos de 10 minutos

2.7 Sistema de Gestão de Baterias

Um sistema de gestão de bateria tem como principal função monitorizar e controlar os processos de carga e descarga de uma bateria ou célula, garantindo a utilização ótima da energia existente na bateria e redução do risco de dano que possa ser infligido [24]. Com este tipo de sistema pretende-se que o ciclo de vida útil das baterias seja atingido, aumentando a fiabilidade deste elemento.

O BMS monitoriza, em tempo real, a diferença de potencial, a intensidade de corrente, a temperatura da bateria e o estado de carga da bateria evitando que estes parâmetros ultrapassem os respetivos intervalos de valores aconselháveis para a bateria.

Assim sendo as funções básicas do BMS são [25]:

- Obtenção de dados dos sensores e atuadores e calcular o estado de carga da bateria;
- Através da monitorização do estado de carga da bateria controlar o carregamento (para evitar excesso de carga) e descarregamento (para evitar descarga excessiva);
- Balanceamento das várias baterias;
- Guardar registo de dados;
- Sistema de comunicação entre os módulos de controlo da bateria e o módulo de controlo principal que por sua vez comunica com aplicações capazes de realizar a monitorização ou guardar histórico.

Na figura 2.8 observa-se um exemplo da arquitetura geral de um sistema BMS, permitindo identificar os vários componentes e comunicações entre eles.

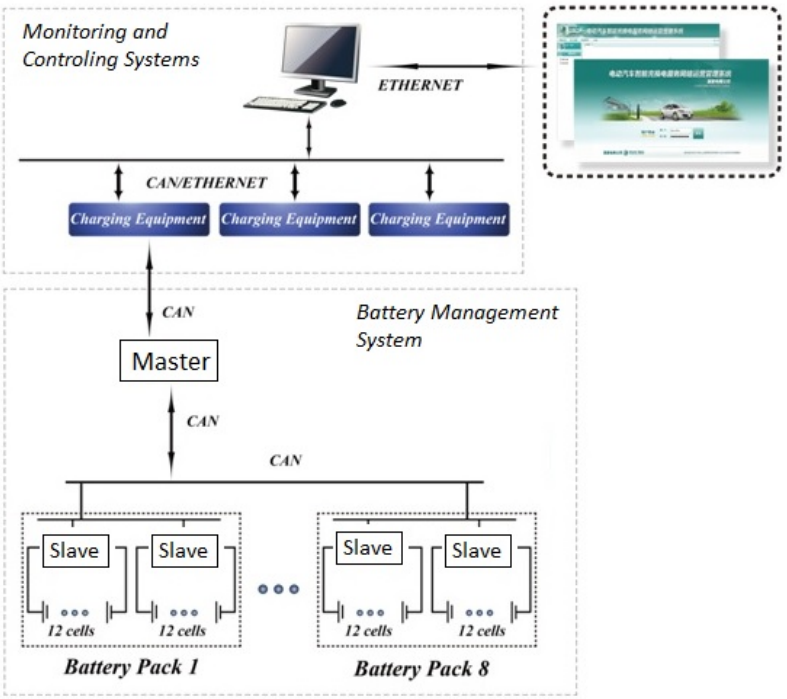


Figura 2.8: Arquitetura genérica de um BMS [26].

2.7.1 Sistemas Comerciais

Atualmente no mercado existem algumas soluções implementadas para monitorização e controlo de baterias tanto ao nível de veículos elétricos como de sistemas de armazenamento de energia elétrica estáticos. Ambos os sistemas apresentam arquiteturas muito semelhantes ao descrito na secção 2.7.

De seguida, serão apresentados dois exemplos de sistemas comerciais de gestão de baterias.

LEM

A LEM [27] é uma empresa com sede na Suíça, sendo líder no mercado de componentes para medição de parâmetros elétricos, como transdutores de corrente e tensão. Com uma vasta gama de produtos na área da energia elétrica a LEM criou o seu próprio sistema de monitorização de baterias, responsáveis pelo *back-up* de energia.

A solução *"Sentinel"* é um sistema de monitorização contínua, fundamental para garantir o desempenho da bateria quando necessário, identificando problemas antes de uma falha com impacto no desempenho das mesmas. Na figura 2.9 observa-se o sistema da LEM, podendo identificar-se os diferentes componentes bem como as interações entre eles, assim sendo a solução apresentada consiste

- Vários módulos escravo (*Sentinel*) capazes de medir tensão, temperatura e impedância, enviando esta informação num barramento para um módulo mestre (*S-Box*);
- Um transdutor de corrente é usado para detetar se o sistema está em carga, descarga ou estático;
- O módulo mestre é capaz de comunicar com um computador através de porta RS-485 ou ligação *ethernet*, e é capaz de armazenar e analisar os dados provenientes dos módulos escravo;
- Possui uma aplicação de visualização de gráficos, dados e alarmes e geração de relatórios (*Cellview net*).

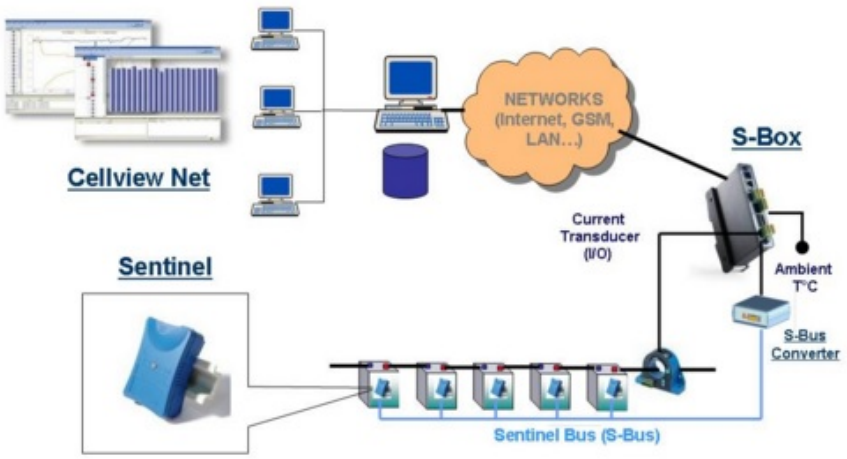


Figura 2.9: Arquitetura do sistema *"Sentinel"* [27].

Ewert Energy Systems

É uma empresa americana, com base em Illinois, que visa criar soluções de energia alternativa de forma acessível e confiável.

Responsáveis por introduzir no mercado o produto *"Orion BMS"* [28], com o intuito de ser usado no controlo e monitorização de baterias de iões de lítio em veículos elétricos. Este sistema, cuja arquitetura observa-se na figura 2.10 e carateriza-se por:

- Realizar medições da tensão de cada célula bem como no conjunto bateria, a aproximadamente cada 30 ms;
- Medir a intensidade de corrente que entra e sai da bateria, através de sensores de efeito *Hall*, a cada 8 ms;
- Cálculo do estado de carga (SoC) de cada bateria através dos dados de intensidade de corrente;
- Uso de termístores para medição da temperatura de cada bateria;

Através da monitorização destes parâmetros o sistema é capaz de proteger o sistema contra sobreaquecimentos, sobretensões e subtensões nas células e controlando a carga e descarga de modo a respeitar um intervalo de valores de corrente, usando resistências *shunt* internas para fazer o balanceamento das células.

O *"Orion BMS"* recorre ao protocolo CAN (*Controller Area Network*) para comunicar e disponibiliza um *software*. Este pode ser instalado num computador e ser utilizado para programar o sistema, visualizar e registar dados em tempo real.

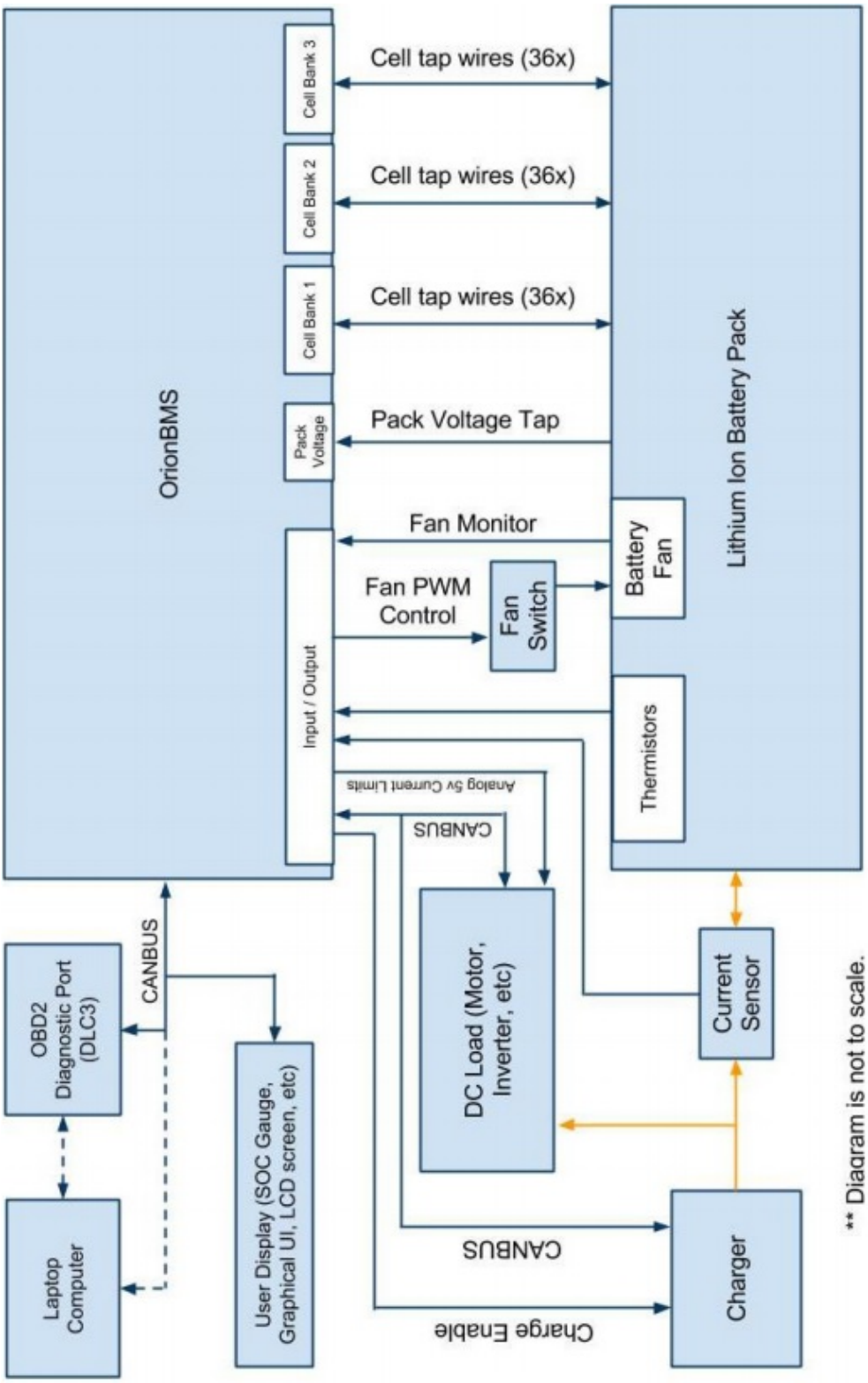


Figura 2.10: Arquitetura do sistema *"Orion BMS"* [28].

Comparando as duas soluções comerciais acima apresentadas conclui-se que têm caraterísticas muito semelhantes. Ambas as soluções incorporam as mesmas funções básicas, possuem *software* capaz de monitorizar e registar dados e empregam cablagem para transmitir mensagens entre os diferentes módulos (mestre-escravo e mestre-computador). Quanto ao *hardware* não são fornecidas informações detalhadas e não é possível retirar nenhuma conclusão.

2.8 Tecnologias Sem Fios

As soluções comerciais apresentadas na subsecção 2.7.1 recorrem a cablagem para troca de informação entre os módulos escravo e mestre, mas para este estudo de caso determinou-se que a aplicação de comunicações sem fios permitirá simplificar aspetos mecânicos e ainda tolerar uma maior mobilidade. A implementação deste tipo de tecnologias pressupõe o conhecimento de alguns conceitos fundamentais, assim sendo é apresentado, de seguida, um breve resumo de cada tecnologia e posteriormente a sua comparação e seleção, de acordo com a tecnologia que mais se adequa a este sistema.

2.8.1 Bluetooth

Em meados de 1994, a empresa Ericsson, começou a estudar a viabilidade de uma nova tecnologia que emprega-se sinais de rádio de baixo custo e permitisse a comunicação entre dispositivos móveis e periféricos. Esta tecnologia despertou o interesse de outras empresas e, em 1998, foi constituído um consórcio chamado Bluetooth *Special Interest Group* pela Ericsson, IBM, Intel, Nokia e Toshiba cujo objetivo é promover o desenvolvimento desta tecnologia [29].

O Bluetooth opera a uma frequência de 2,45 GHz, podendo ocorrer oscilações dependendo do país, e como a transmissão de dados é feita por radiofrequência é indispensável que os dispositivos a conectar estejam dentro do limite de proximidade. O alcance máximo depende da classe do dispositivo, atingindo os 100 metros para a classe 1, até 10 metros para a classe 2 e apenas 1 metro para a classe 3 [30].

No que diz respeito à taxa de transferência de dados, esta é influenciada pela versão do dispositivo Bluetooth [30].

- Versão 1.0 a 1.2 a taxa de transferência é de 721 kb/s, mas ainda possuíam muitos problemas;
- Versão 2.0 + EDR (*Enhanced Data Rate*) em que houve um aumento para 3 Mb/s na taxa de dados bem como a redução do consumo de energia e melhor comunicação entre os dispositivos;
- Versão 2.1 + EDR trouxe melhorias na segurança e consumo de energia;
- Versão 3.0 + HS (*High Speed*) (*High Speed*) surgiu desenvolvimentos no desempenho dos dispositivos, atingindo velocidades de 24 Mb/s e menor gasto de energia na conexão dos equipamentos;
- Versão 4.0 trouxe vantagens ao nível da economia e otimização de energia nos dispositivos;

- Versão 4.1 teve como vantagens a melhoria da usabilidade para os consumidores, permitindo suportar múltiplas funções em simultâneo;
- Por fim, a versão 4.2 foi implementada em finais de 2014 e tem como principais caraterísticas o aumento da segurança e velocidade, 2,5 vezes mais rápida que as versões anteriores.

De notar que apesar de existirem várias versões de dispositivos Bluetooth não significa que não pode haver comunicação entre diferentes versões.

A comunicação desta tecnologia é baseada na existência de um mestre e vários escravos. Quando é estabelecida a comunicação, o dispositivo que iniciou a conexão assume o papel de mestre, enquanto os outros dispositivos, no máximo 7, assumem o papel de escravos. O mestre controla toda a comunicação, sendo este a enviar a informação para cada escravo. Os módulos escravo apenas recebem e respondem aos pedidos do mestre.

2.8.2 ZigBee

A ZigBee Alliance, criada em 2002 e formada por diversas empresas, concebeu a tecnologia ZigBee e desde então trabalham em conjunto no desenvolvimento de protocolos capazes de possibilitar a comunicação sem fios, segura, de baixo custo e baixo consumo energético [31].

O ZigBee tem por base a norma IEE 802.15.4 e é utilizado no controlo e monitorização de redes de sensores e dispositivos. É uma tecnologia capaz de operar a diferentes taxas de transferência dependentes da frequência, sendo que, na Europa, funciona a uma frequência de 868 MHz a uma taxa de 20 Kbps e, nos Estados Unidos opera a 915 MHz a uma taxa de 40 Kbps.

Em termos de alcance, esta tecnologia permite uma transmissão de dados de cerca de 100 metros, dependendo da potência e ambiente. Pode assumir diferentes tipologias de rede como estrela, árvore e ponto-a-ponto que possibilita o uso de mais de 65.000 nós.

No padrão ZigBee existem três classes de dispositivos:

- ZC (*ZigBee Coordenador*);
- ZR (*Zigbee Router*);
- ZED (*Zigbee Dispositivo Final*).

Resumidamente, o primeiro tipo controla a formação e a segurança da rede, o segundo realiza a expansão da rede e o tipo ZED realiza funções específicas de deteção e controlo da rede [32].

2.8.3 Módulo Radiofrequência

Em relação à tecnologia por radiofrequência existem diversos fabricantes de equipamentos, cada um com protocolos de comunicação diferentes, mas, neste caso, o estudo incidirá sobre o módulo radiofrequência nRF24L01+ [33]. Produzido pela empresa Nordic Semiconductor e desenvolvido para aplicações com comunicações sem fios, tem como vantagens o baixo consumo de energia e baixo custo. Este módulo disponibiliza o protocolo *Enhanced ShockBurst* que é responsável pela construção automática de pacotes de informação, auto confirmação do envio e retransmissão de pacotes caso seja necessário.

A tecnologia referida opera a uma frequência de 2,4 GHz e possui uma taxa de transmissão de dados de 250 kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps. Quanto ao alcance, em ambientes isolados/fechados pode chegar a 10 metros, mas em campo aberto e com a utilização de antena interna pode chegar aos 100 metros.

2.8.4 Análise e conclusão

De acordo com as tecnologias acima descritas e tendo em vista a presente dissertação foi estabelecida a comparação, na tabela 2.3, das caraterísticas mais relevantes.

Tabela 2.3: Comparação das diferentes tecnologias de comunicação sem fios

Caraterísticas	**Bluetooth**	**ZigBee**	**nRF24L01+**
Velocidade	Mais de 24 Mbps	20, 40 e 250 kbps (depende da frequência)	250 kbps, 1 e 2 Mbps
Alcance	Até 100 metros	Até 100 metros	Até 100 metros
Frequência	2,4GHz	868 MHz, 915 MHz e 2,4 GHz	2,4 GHz
Consumo de energia	Médio (centenas de mW)	Muito baixo (mW)	Muito baixo (mW)
Preço	Médio	Médio	Baixo

A comunicação por ZigBee, normalmente aplicada em sistemas de automação com ligações a vários dispositivos na rede, tem como vantagem diferentes taxas de transmissão de dados e um baixo consumo de energia. Como desvantagem, o preço é elevado comparativamente com as outras tecnologias de rede sem fios. Entre o módulo radiofrequência nRF24L01+ e o Bluetooth a diferença é que o módulo radiofrequência assegura um baixo consumo de energia e menor custo de aquisição relativamente às outras tecnologias dispostas, sendo este um fator relevante para a sua implementação no sistema.

Capítulo 3

Solução e Implementação Proposta

Neste capítulo pretende-se mostrar, com mais pormenor, a arquitetura e o funcionamento do sistema desenvolvido. Começando pela solução proposta, onde se expõe uma breve explicação do sistema a desenvolver, e complementando com a implementação do próprio sistema, revelando todos os detalhes inerentes a este.

3.1 Solução Proposta

A presente secção pretende apresentar a arquitetura, funcionalidades e restrições inerentes ao sistema desenvolvido. Assim sendo, será exposto uma perspetiva geral da solução proposta para um sistema de monitorização e controlo de dispositivos de armazenamento de energia elétrica (baterias).

Restrições

Tendo em vista a aplicação deste sistema no carregamento de veículos elétricos e/ou injeção de energia elétrica proveniente de energias renováveis na rede é proeminente desenvolver um protótipo à escala reduzida para efetuar o estudo do sistema em questão. Logo este estará sujeito às seguintes restrições:

- Deve ser de baixo custo;
- Ser robusto e fiável
- Possuir dimensões reduzidas
- Baixo consumo energético;

Perspetiva geral

O protótipo desenvolvido, como se afirmou anteriormente, possui a capacidade de controlar a carga e descarga das baterias e de supervisionar todo este processo em tempo real. Ao mesmo tempo os dados recolhidos são enviados para uma aplicação, permitindo a sua visualização e registo.

Por forma ao sistema realizar as funções acima descritas, existiu a necessidade de criar diferentes módulos, dependentes da função, cujos componentes devem obedecer às seguintes especificações:

- Mecanismo de comutação, capaz de realizar uma comutação elétrica dinâmica, responsável por agrupar em série ou paralelo grupos de baterias, tendo em atenção a especificidade do mercado;
- Mecanismo de monitorização, supervisão de cada bateria pertencente ao sistema em tempo real, medindo tensões, correntes e temperaturas. Além desta tarefa, ainda é responsável por determinar o estado de carga de cada dispositivo e a potência e a energia em caso de carga ou descarga;
- Sistema de comunicação, preferencialmente comunicação sem fios, conseguindo-se minimizar cablagem e simplificar aspetos mecânicos, bem como aumenta a mobilidade e flexibilidade do sistema;
- Interface com o utilizador, permite a visualização e registo do estado do sistema, e com isso, atuar ou controlar em conformidade com as necessidades exigidas.

A figura 3.1 ilustra a arquitetura da solução proposta pelo autor, evidenciando os módulos necessários e suas interações.

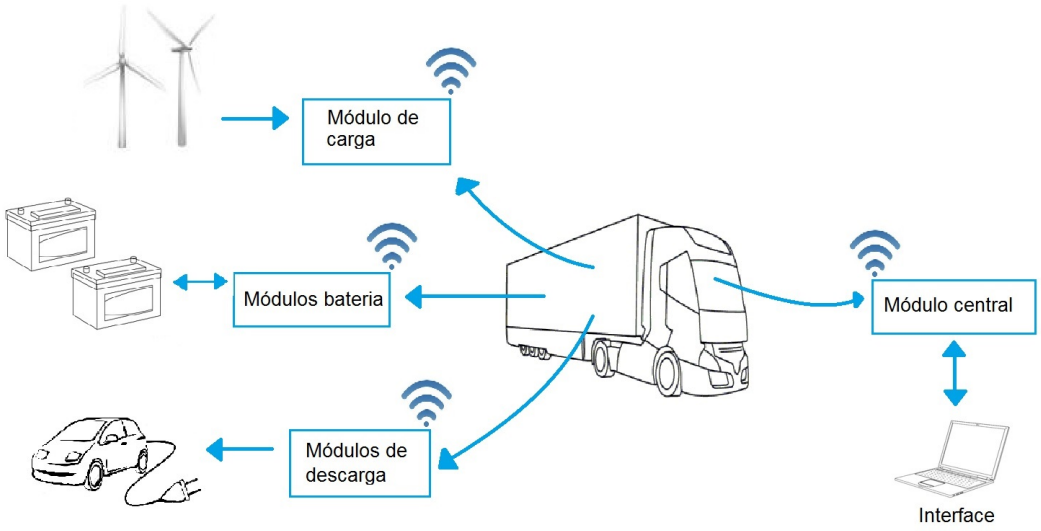


Figura 3.1: Perspetiva geral do sistema

O "Módulo de carga" e o "Módulo de descarga" são responsáveis pela monitorização das operações de carga e descarga das baterias, respetivamente, e posteriormente, enviam os dados por rádio frequência para o "Módulo central".

Os "Módulos bateria" realizam a supervisão de cada bateria (um módulo por bateria), fazendo um *scan* contínuo das baterias e reportando os dados ao "Módulo central". Nesta dissertação optou-se por usar quatro baterias, logo quatro "Módulos bateria", formando uma matriz de baterias ligadas entre si, em que os módulos microcontrolados conseguem alterar o modo como as baterias estão conectadas.

Por fim, o "Módulo central" recebe e interpreta os dados provenientes dos diferentes tipos de módulos e reencaminha-os para o *software* por comunicação série. Este também possui a capacidade de receber ordens da aplicação encaminhando-as para o módulo correspondente.

3.2 Implementação da Solução Proposta

De seguida será apresentado, em detalhe, todo o processo de desenvolvimento e respetivo funcionamento do *hardware* e *software*. Descrever-se-ão todos os passos, e sempre que possível, acompanhar-se-ão por figuras do *hardware* e *software* para melhor compreensão do trabalho desenvolvido.

3.2.1 *Hardware*

De acordo com a secção 3.1, o *hardware* implementado terá de possuir quatro tipos de módulos não ligados entre si por cablagem, mas por comunicação sem fios. Resumidamente, existem três unidades responsáveis pela aquisição de dados (temperatura, corrente e tensão), capazes de enviar essa informação por rádio frequência e atuar nos mecanismos de comutação, de acordo com as ordens recebidas.

Essas unidades são os "módulos de carga, descarga e bateria", que estão dispostos na parte traseira do veículo de forma a monitorizar e controlar as baterias. O "Módulo central" e a interface do sistema encontram-se na parte frontal do veículo, permitindo visualizar e registar a informação adquirida na parte traseira.

Quanto aos aspetos técnicos do sistema, este será concebido para monitorizar baterias de lítio-polímero, por uma questão de disponibilidade do material no laboratório. Este tipo de bateria é baseado nas baterias de iões de lítio, possuindo os mesmos elementos base, ou seja, ânodo, cátodo e um eletrólito. A diferença é que, neste caso, o eletrólito é composto por um polímero e um gel condutor, oferecendo um ligeiro aumento na densidade energética e diminuição na espessura da bateria, porém o custo de fabrico é ligeiramente maior (10% a 30%). Como o eletrólito é flexível e a bateria não necessita de um invólucro rígido, do ponto de vista de construção, pode-se fabricar baterias com várias formas e dimensões [34].

As células disponíveis não possuem qualquer informação sobre o fabricante (origem chinesa), em termos de tensão nominal é especificado 3,7 V e capacidade de 400 mAh (Anexo A).

Dado os requisitos impostos e a existência de placas de circuito impresso, desenvolvidas no Departamento de Engenharia Mecânica, pelo Engenheiro Rúben Britos, com um controlador linear de carga, o MCP73831 da Microchip Technology [35], que controla o carregamento de baterias de lítio-polímero até 500 mA, nesta dissertação decidiu-se adaptá-las às necessidades do sistema proposto.

De seguida, será apresentado o *hardware* utilizado tendo em conta as caraterísticas das baterias, tal como das placas de circuito impresso.

3.2.1.1 Placa micrcontrolada

A figura 3.2 ilustra o *hardware* utilizado por um módulo e a forma como são medidas as tensões e correntes da bateria. De notar que todas as medições efetuadas pelos sensores são encaminhados primeiramente para a placa microcontrolada e só transmitida para "Módulo central" a quando o seu pedido.

Como referido anteriormente, as placas microcontroladas foram adaptadas às necessidades do projeto, e como tal os sensores de tensão e corrente, bem como o conversor DC/DC, tiveram de ser soldados em placas à parte e só depois conectados à placa microcontrolada por meio de cablagem.

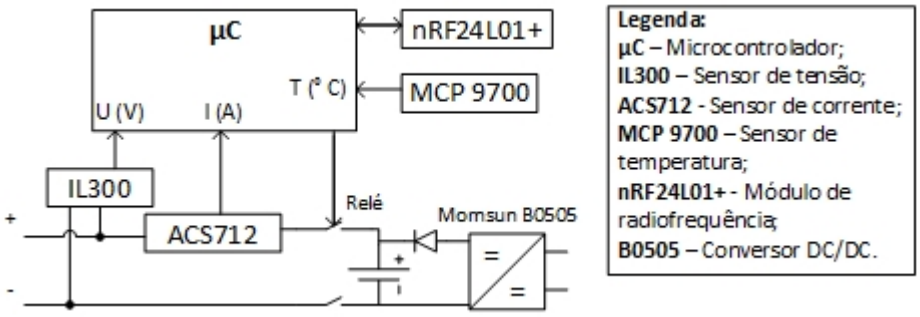


Figura 3.2: Esquema do *hardware* implementado nos diferentes módulos

Apresentado o *hardware* genérico de um módulo o autor procede ao aprofundamento das caraterísticas dos componentes principais.

3.2.1.2 Microcontrolador

Como se observa na figura anterior o elemento central do sistema é o microcontrolador, fazendo a ligação entre os diversos componentes e responsável por diversas funções fundamentais ao bom funcionamento do sistema. Sendo assim, optou-se pela implementação do microcontrolador PIC18F2520 da Microchip no processamento de dados em todos os módulos. Na figura 3.3 observa-se o microcontrolador utilizado e o respetivo diagrama de pinos.

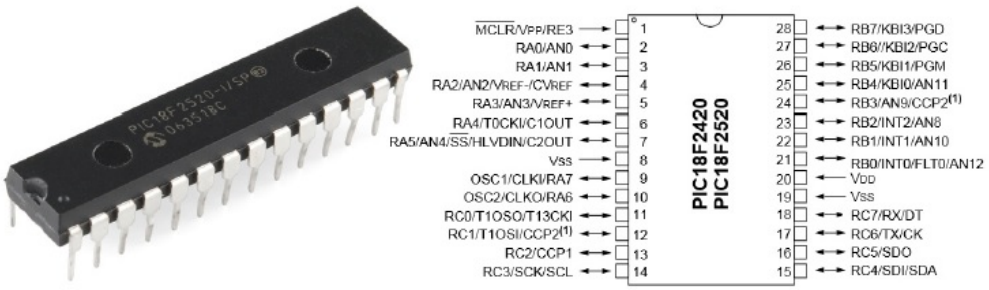


Figura 3.3: PIC18F2520 e diagrama de pinos [36]

Posteriormente expõem-se as caraterísticas deste microcontrolador [36]:

- Baixo custo - O PIC18F2520-I/SP com encapsulamento SPDIP tem um custo de 3,66[1] euros por unidade na Microchip Direct [37].
- Baixo consumo de energia - O microcontrolador possui um consumo elétrico, no máximo, de 1,875 W[2]. Mas oferece a possibilidade de economizar energia passando ao modo *Sleep* quando não está ser utilizado;

[1] Valor dependente da quantidade de unidades encomendadas (quanto maior o número menor o custo), apresentando-se o preço máximo que este pode atingir.

[2] O PIC18F2520 apresenta um valor máximo de tensão e corrente admitidos de 7,5 V e 250 mA, respetivamente.

- Velocidade de processamento - Possui um oscilador interno capaz de atingir uma frequência de 8 MHz, permitindo uma alta velocidade de processamento sem necessidade de aquisição de um oscilador externo;

- Memória - Este microcontrolador incorpora uma EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*)[3] capaz de guardar 256 bytes. Em relação à memória RAM (*Random Access Memory*), esta tem disponíveis 1536 bytes;

- Periféricos - Os microcontroladores oferecem uma vasta gama de periféricos, sendo que o PIC18F2520 disponibiliza uma interface USART (*Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver/ Transmitter*), uma interface SPI (*Serial Peripheral Interface*), uma interface I^2C (*Inter-Integrated Circuit*), dez canais ADC (*Analog to Digital Converter*) de 10 bits, um *Timer* de 8 bits e três *Timers* de 16 bits.

O autor optou pela implementação deste microcontrolador porque, para além das caraterísticas referidas anteriormente, o autor está familiarizado com o mesmo e este encontra-se disponível no laboratório onde se realiza a elaboração do protótipo.

3.2.1.3 Comunicação

A comunicação entre os diversos dispositivos é realizada segundo as tecnologias definidas e ilustradas anteriormente na secção 2.8 e capítulo 3, respetivamente. No entanto, para além das ligações físicas estabelecidas, é necessário definir protocolos e estruturas de comunicação entre os diversos dispositivos.

Como foi referido anteriormente, entre as placas microcontroladas é implementada comunicação sem fios com recurso a módulos de radiofrequência. Opção esta, que fornece ao sistema uma estrutura de comunicação rápida e fiável, devido ao robusto protocolo presente nestes módulos.

Por outro lado, pretende-se que o utilizador possa visualizar e controlar os diversos estados de todos os dispositivos de forma simples e centralizada. Desta forma, optou-se pela ligação do computador à rede de microcontroladores através de uma ligação RS-232 com o microcontrolador "mestre". Em que este recebe a informação proveniente de todos os outros microcontroladores e reencaminha-a para o computador, que por sua vez, atualiza os dados da interface e transmite ordens de controlo do utilizador para o sistema.

De seguida serão enunciados os protocolos utilizados nas comunicações acima descritas e os seus componentes físicos.

- Módulo radiofrequência nRF24L01+

A transmissão de informação entre o "Módulo central" e os restantes módulos será por radiofrequência, especificamente o *transceiver* nRF24L01+ da Nordic Semiconductor[33]. Na figura 3.4 pode-se visualizar o módulo utilizado bem como o esquema de ligações necessárias entre o microcontrolador e módulo de radiofrequência.

A comunicação entre o módulo nRF24L01+ e o microcontrolador é realizada através da interface SPI, em que o PIC18F2520 quando comunica com o módulo nRF24L01+, primeiro precisa ativar uma porta de saída digital (pino 13) para habilitar o *chip select* (CS) módulo. Outra particularidade do módulo de radiofrequência é possuir um pino de

[3]Memória não volátil, em que os dados gravados nela não são apagados ao ser retirada a alimentação.

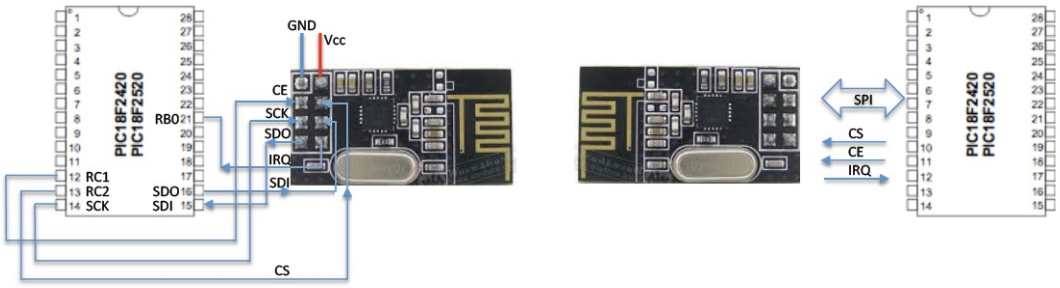


Figura 3.4: Esquema de ligações entre o microcontrolador e o módulo nRF24L01+

chip enable (CE) que, dependendo da configuração pretendida, precisa de ser ativado ou desativado por uma porta de saída digital (pino 12) do microcontrolador.

Com o intuito da transmissão de dados ser robusta, o módulo nRF24L01+ tem um pino de saída (IRQ) que é ligado a uma interrupção externa do microcontrolador, permitindo o conhecimento de uma ocorrência como por exemplo, a confirmação do envio e receção de dados e o máximo de retransmissões atingidas.

Além disso, realiza a construção automática da informação a enviar com o formato demonstrado na figura 3.5. Em que no campo *Payload* se introduz a mensagem definida pelo autor nesta implementação. Como protocolo de transmissão de dados foi usado o protocolo ModBus, muito popular em sistemas de comunicação industriais, que funciona segundo um mecanismo "mestre-escravo" tal como se pretende para solução proposta. Assim, o "mestre" envia mensagens solicitando aos "escravos" que respondam conforme o pedido realizado (ex.: leitura de dados, escrita de registos, alteração de saídas digitais), em que as mensagens são constituídas pelos campos observados na parte inferior da figura 3.5.

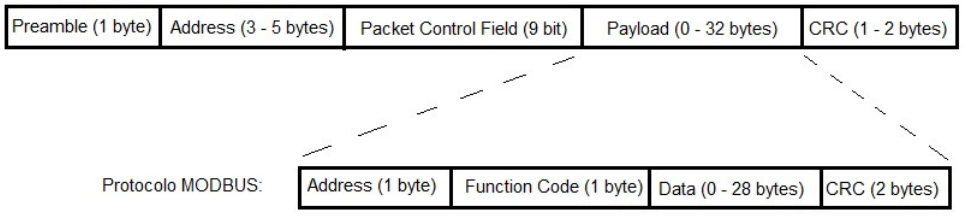


Figura 3.5: Estrutura das mensagens enviadas entre microcontroladores

- Ligação RS-232

O microcontrolador implementado possui um módulo USART que permite a troca de informação entre aplicação local e o microcontrolador que gere o sistema. O módulo USART consegue comunicar nos dois sentidos, ou seja, é *full duplex* e permite conexão com dispositivos periféricos, como computadores, e protocolos LIN 2.0, RS-232 e RS-485.

Optou-se por implementar o protocolo RS-232, pois trata-se de uma comunicação entre apenas dois equipamentos e garante-se a simplicidade das ligações e programação necessárias. Este protocolo, aprovado pela *Electronic Industries Association*, tem diversas

normas, entre as quais a definição dos níveis de tensão. Neste caso, define-se que a aplicação de uma tensão positiva, entre 5 e 25 volts, representa o envio de um bit com o valor lógico "0", e uma tensão negativa, entre -5 e -25 volts, representa o envio de um bit com valor lógico "1".

O módulo USART do microcontrolador só tem dois níveis de tensão possíveis, 0 e 3,3 volts, incompatíveis com a norma, daí a necessidade da ligação de um conversor TTL (*Transístor-Transístor Logic*) às portas TX e RX do microcontrolador. Assim, é possível a conversão dos níveis de tensão utilizados pelo microcontrolador , para os níveis definidos pelo protocolo RS-232 e permite, ainda, a ligação ao computador por uma entrada USB (*Universal Serial Bus*), como se tratasse de uma porta série [38].

3.2.1.4 Mecanismo de comutação

O mecanismo de comutação implementado tem de ser capaz de reorganizar o modo como as baterias se emparelham entre si, ora em série ora paralelo, além de isolar o sistema de controlo das baterias.

Para tal, a escolha recaiu na implementação de relés eletromecânicos, cujos componentes se observam na figura 3.6, em que a circulação de corrente na bobina gera um campo eletromagnético com força suficiente para movimentar um conjunto mecânico (armadura fixa) com contactos móveis, alterando o estado do relé de normalmente aberto (NA) para normalmente fechado (NF), ou vice-versa, conforme o tipo de relé.

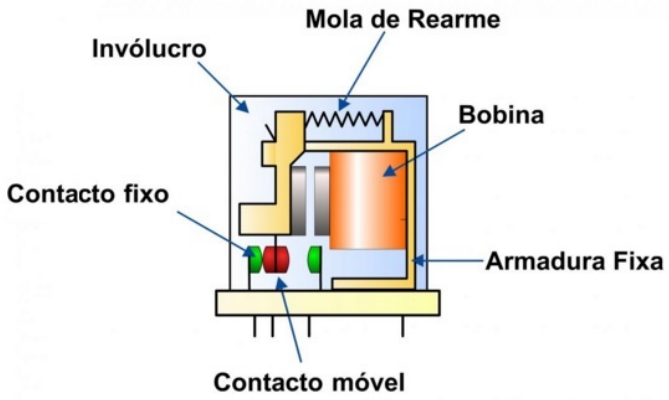


Figura 3.6: Componentes de um relé eletromecânico [39]

Os relés têm como vantagem o facto da tensão do controlo (bobina) ser muito menor que a dos contactos (saída), podendo assim, ser controlado através do microcontrolador, no entanto consegue suportar os níveis de tensão das baterias. O relé implementado foi o HK19F-DC 3V-SHG da Huike (origem chinesa) e as suas especificações encontram-se na tabela 3.1.

A utilização de relés eletromecânicos irá permitir a ativação da carga ou descarga das baterias, nos "módulos de carga e descarga", respetivamente. Nos "módulos bateria" utilizam-se dois relés, em que um é responsável por ligar ou desligar a bateria do circuito e o outro altera as ligações do circuito, fazendo com que as baterias se liguem em paralelo ou em série.

Tabela 3.1: Especificações do relé implementado [40]

Componente	Parâmetro	Valor
Bobina	Tensão de alimentação	3 VDC
	Consumo de energia	0,2 W
Contactos	Carga nominal	1 A a 125 VAC/ 2 A a 30 VDC
Geral	Resistência de isolamento	100 MΩ a 500 VDC

3.2.1.5 Medição de variáveis

Para adquirir valores de tensão, corrente e temperatura do sistema teve de se ter em consideração algumas exigências. Consequentemente, os sensores têm de respeitar a gama de tensão mensurável e operacional dos canais analógicos, que é entre 0 e 3,3 V. Outro requisito é o isolamento elétrico na aquisição de sinal, garantindo um equipamento de controlo protegido de fluxos de correntes indesejáveis.

- Medição de corrente

Para a medição de corrente, optou-se por um sensor de corrente baseado no princípio do efeito de *Hall*, figura 3.7. Basicamente, a passagem de corrente num condutor induz um campo magnético, que ao estar na perpendicular com uma placa de *Hall* resultará no rearranjo das cargas negativas e positivas da placa, posicionando-se em extremidades opostas, criando uma diferença de potencial. Por se tratar de um sensor de *Hall* o isolamento já está garantido, sendo apenas necessário ligar o sinal de saída do sensor ao canal analógico do microcontrolador.

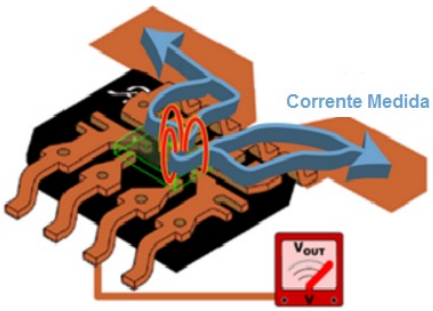


Figura 3.7: Sensor de efeito *Hall* com encapsulamento em circuito integrado [41]

Após a procura no mercado, bem como no laboratório, optou-se pelos sensores de corrente da Allegro Microsystems, neste caso o ACS712ELC-05B-T, visível na figura 3.8, permitindo um isolamento galvânico até 2100 V e a gama de operação é de ±5 A [41]. De notar que a gama de operação é superior aos resultados que o protótipo irá gerar e não se tirará partido de metade da resolução do sensor, pois não se irá medir correntes negativas no funcionamento do sistema.

No *site* do fabricante do sensor[43] é indicado o valor de tensão que o sensor apresenta na sua saída em função da corrente que o percorre. No entanto, estes valores foram obtidos enquanto a tensão de alimentação do sensor era de 5 V_{DC}, com o objetivo de reduzir o número de fontes de alimentação e que cada módulo do sistema fosse alimentado

Figura 3.8: Módulo sensor de corrente ACS712ELC-05B-T [42]

apenas pela bateria, o sensor foi alimentado a 3,3 V_{DC}. Assim, tem-se que a sensibilidade do sensor será menor que a descrita no *site*, existindo a necessidade de calibrar o sensor.

Por fim, foi ainda implementado um filtro passa-baixo, com o principal objetivo de eliminar algum ruído existente no sinal. A partir da equação 3.1 foi calculada a frequência de corte, de aproximadamente 33 Hz, considerando uma resistência(R_1) de 4,7 kΩ e um condensador(C_1) de 1 μF.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \tag{3.1}$$

Este sensor de corrente destaca-se pelo facto de ser uma solução económica, compacta e precisa de medição de corrente, tanto em corrente alternada como contínua.

- Medição de tensão

Por forma a obter isolamento elétrico na aquisição do valor de tensão optou-se pela implementação de um opto-acoplador. Um opto-acoplador é composto por um acoplamento ótico de um LED com fototransistores. As variações de intensidade de luz são detetadas pelo elemento fotossensível que permite fluir corrente de forma proporcional à intensidade de luz detetada. Assim garante-se o isolamento elétrico total entre a entrada e saída do opto-acoplador.

De modo a ter uma maior precisão e linearidade optou-se pelo IL300 da Vishay, que se carateriza por ter um baixo consumo (inferior a 15 mW), grande estabilidade no ganho com a temperatura (±0,005 %/ºC) e isolamento elétrico até 5300 V_{RMS} [44].

- Medição de temperatura

A medição da temperatura ambiente permite retirar informação sobre se a bateria está a operar de acordo com os padrões estabelecidos. Para realizar a leitura utizou-se um sensor de temperatura do tipo termístor, em que a tensão de saída do sensor é diretamente proporcional à temperatura medida.

O MCP9700 da Microchip Technology é um sensor de baixo custo, baixo consumo e compacto, caraterísticas relevantes para a implementação no protótipo. Além disso, não necessita de eletrónica adicional para acondicionamento do sinal, porém não oferece elevada exatidão na medição da temperatura (±4ºC de 0ºC até 70ºC) [45]. Na tabela 3.2 observa-se o resumo das caraterísticas deste sensor de temperatura.

Tabela 3.2: Especificações do sensor de temperatura MCP9700 [45]

Parâmetro	Valor
Gama de temperaturas	-40 ºC a 150 ºC
Tensão de alimentação	2,3 V a 5,5 V
Sensibilidade	10 mV/ºC
Calibração a 0ºC	500 mV

- Quantificação das grandezas analógicas

A implementação dos sensores anteriormente descritos leva à geração de um sinal analógico, ou seja, as grandezas envolvidas variam continuamente em relação ao tempo, assumindo infinitos valores dentro de uma determinada gama. Como o microcontrolador trabalha com dados digitais é necessário converter um sinal analógico para um valor digital, através do conversor analógico-digital.

O ADC quantifica o valor analógico conforme a quantidade de bits da sua resolução. O microcontrolador possui um ADC de 10 bits, consegue representar 1024 valores diferentes (0 a 1023) e sabendo que a tensão de referência do microcontrolador para as conversões analógicas digitais é de 3,3 V determina-se a resolução através da expressão 3.2

$$Res = \frac{V}{N-1} = \frac{V}{2^b - 1} = \frac{3,3}{1024-1} = 0,00322V(3,22mV) \tag{3.2}$$

Em que,

V – tensão de referência do microcontrolador;

N – número de níveis de quantificação;

b – número de bits do conversor.

Após consulta da ficha técnica dos fabricantes dos sensores e posterior calibração, consegue-se definir as caraterísticas de cada sensor. Tal como a resolução da medição, conforme é apresentado na tabela 3.3.

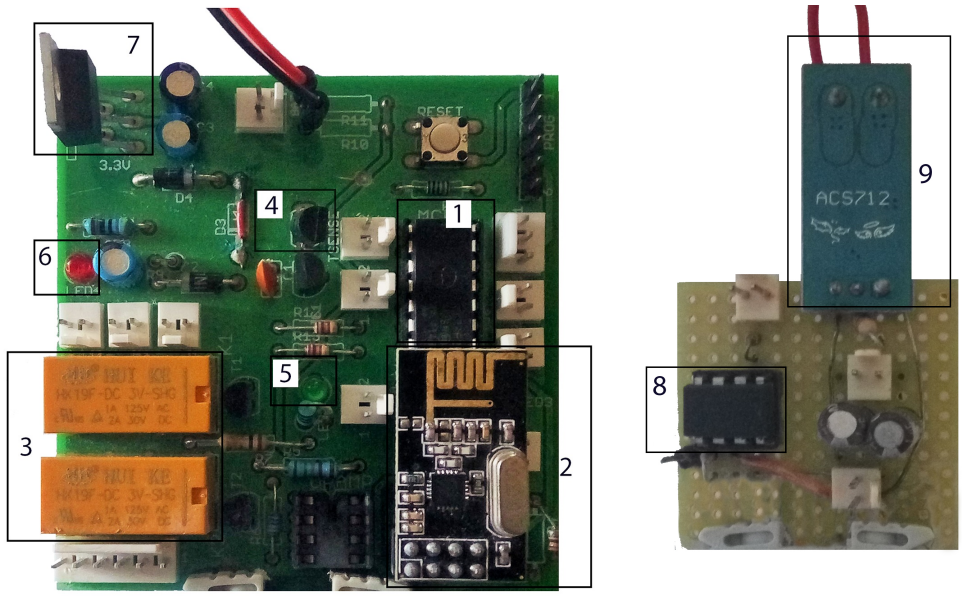
Tabela 3.3: Caraterísticas dos sensores

Sensor	Resolução
ACS712ELC-05B-T	0,060 A/nível
IL300	0.052 V/nível
MCP9700	0,322 ºC/nível

De notar, que da análise da tabela 3.3 retira-se que, qualquer variação do sistema abaixo dos valores de resolução não é detetada.

3.2.1.6 Protótipo da placa microcontrolada e sensores

Após conhecer os componentes necessários e suas especificações procedeu-se à construção dos módulos. Na figura 3.9, da esquerda para a direita, pode-se observar a placa microcontrolada e a placa dos sensores, respetivamente.



(a) Placa microcontrolada (b) Placa dos sensores

Figura 3.9: *Hardware implementado nos módulos*

Na figura 3.9, na placa microcontrolada, destaca-se o PIC18F2520 (1) responsável pelo processamento, o módulo nRF24L01+ (2) para comunicação sem fios entre os módulos, os relés (3) como mecanismo de comutação, o sensor de temperatura MCP9700 (4). Os LEDs (*Light Emitting Diodes*) presentes mostram o funcionamento do módulo, indicando o envio de dados por radiofrequência através do módulo nRF24L01+ (5) e o carregamento da bateria (6). É importante referir que a placa microcontrolada é alimentada pela bateria, em que os diversos componentes operam a 3,3 V e como tal foi implementado um regulador de tensão (7) para criar este nível de tensão. De modo a possibilitar o carregamento das baterias, encontra-se implementado um controlador linear de carga, não visível na figura pois é soldado no verso da placa microcontrolada.

Relativamente à placa dos sensores destaca-se o "sensor" de tensão IL300 (8) e o sensor de corrente ACS712 (9). A alimentação destes sensores é realizada através da placa microcontrolada evitando a necessidade de acrescentar uma nova fonte de alimentação.

Os componentes principais dos diferentes módulos encontram-se descritos, mas é relevante indicar que o "módulo central", apesar de possuir extrema importância em termos de *hardware* é o mais simples. Como se verifica na figura 3.10 é implementada a mesma placa microcontrolada em que apenas é necessário acrescentar o conversor TTL, visível no quadrado preto, componente que possibilita a comunicação com o computador. A alimentação deste módulo é realizada através da ligação ao computador, mais precisamente, pelo conversor TTL.

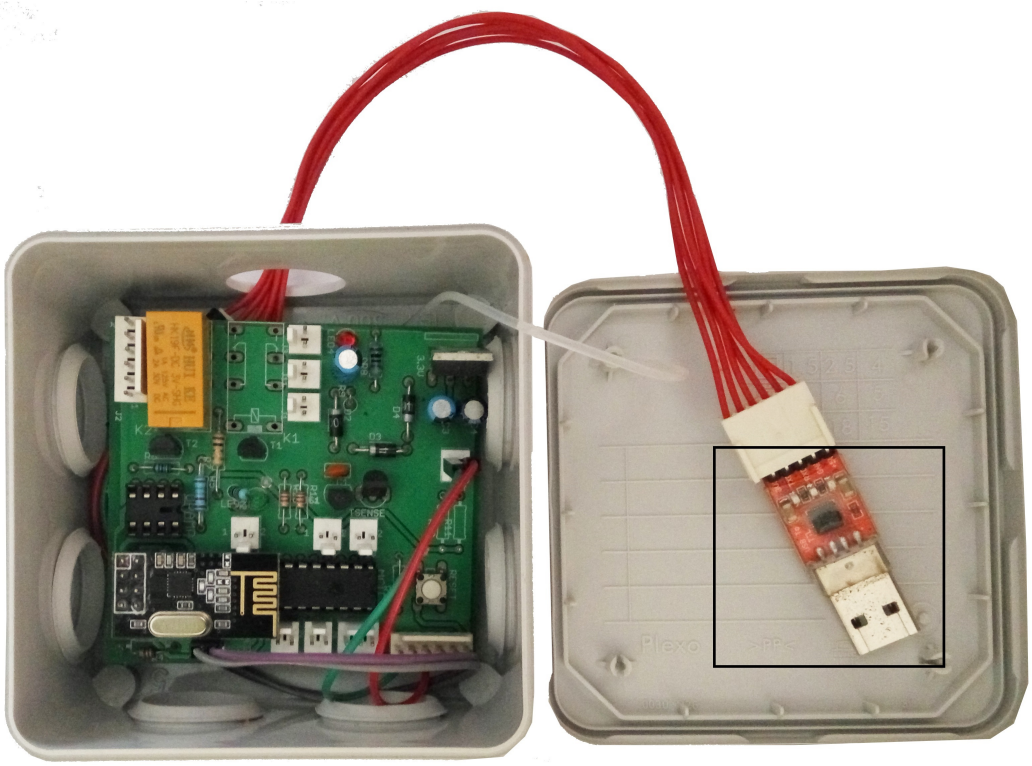


Figura 3.10: "Módulo central"

Como se denota da figura anterior, esta placa microcontrolada ainda poderia ser melhorada. Sendo estritamente necessários o microcontrolador, o módulo de rádio frequência e o regulador de tensão, poderia efetuar-se o redimensionamento da placa para um tamanho reduzido, facilitando o seu transporte e aumentando a sua flexibilidade.

3.2.2 Arquitetura do sistema

Após apresentação dos módulos e especificação do *hardware* que cada um incorpora, procede-se à esquematização da arquitetura do circuito, visível na figura 3.11.

Observando a figura 3.11, da esquerda para a direita, encontra-se uma fonte AC/DC que recebe 230 V, provenientes de uma fonte de energia renovável, por exemplo, e converte-a para 10 V_{DC}. No barramento da fonte, designado barramento de entrada, visualiza-se o "módulo carga" que autoriza o carregamento das baterias e possui os componentes descritos na secção anterior. De seguida implementou-se um conversor DC/DC (*step-down*), no mesmo barramento, por forma a colocá-lo nos níveis de tensão apropriados para o carregamento das baterias implementadas, aproximadamente 6,6 V_{DC}. Este barramento, para além de permitir o carregamento também pode ser alimentado pelas baterias, conectadas em série, paralelo ou misto, conforme se explicará mais à frente.

O barramento de entrada alimenta um conversor DC/DC intermédio que por sua vez alimenta o barramento de saída a 5 V_{DC}, permitindo nivelar a tensão de saída para valores estáveis e que não danifique os "módulos de carga e descarga", cujo carregamento é realizado por este barramento.

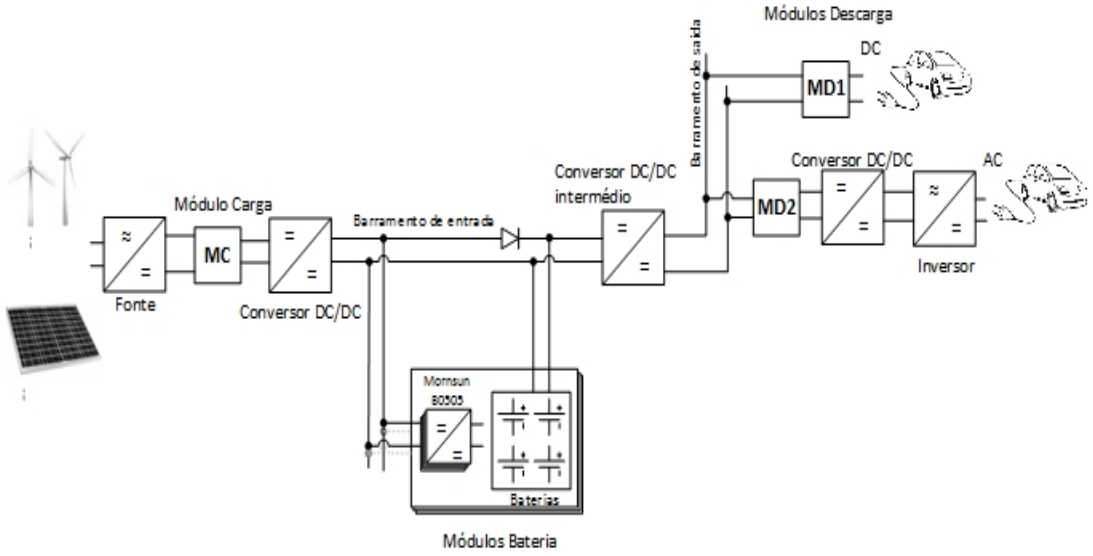


Figura 3.11: Arquitetura do sistema

Os "módulos descarga" disponibilizam a energia, são iguais em *hardware* e *software* e recebem tensão DC existente existente no barramento de saída. O "módulo descarga 1" (MD1), visível na figura anterior no canto superior direito, cede 5 V_{DC}, hipoteticamente seria um carregamento lento de um VE. Já na saída do "módulo descarga 2" tem-se corrente alternada devido ao inversor implementado depois deste, que converte corrente continua em alternada. Assim é possível ter duas saídas, uma a 5 V_{DC} e outra de tensão AC (*Corrente Alternada*), que permitem a adequação ao veículo que se pretende carregar. Devido ao inversor necessitar de pelo menos uma tensão de 12 V para funcionar, foi preciso implementar um conversor DC/DC (*step-up*) que eleva o nível de tensão para o exigido pelo inversor.

A alimentação dos "módulos carga e descarga" é efetuada por baterias e a energia necessária ao seu carregamento vem do barramento de saída. Entre o barramento de saída e o respetivo módulo a carregar encontra-se um dispositivo que garante o isolamento galvânico até 1000 V_{DC}, o Mornsun B0505YS-1W [46]. Consequentemente, conseguiu-se obter isolamento galvânico quer para a medição das correntes e tensões, quer para o carregamento da placa.

Relativamente aos "módulos bateria", estes recebem energia do barramento de entrada, quando a operação de carga é autorizada, e cada um deles carrega a sua bateria à sua velocidade, independentemente da carga das outras baterias. No que concerne o isolamento galvânico das placas, durante a operação de carga, este é garantido pelos Mornsun B0505YS-1W, tal como descrito previamente.

Através da figura 3.12 observa-se as conexões entre os vários "módulos bateria". Destaca-se a possibilidade de isolar as baterias do circuito, através dos relés "KA_.1", e a capacidade de alterar as conexões, relé "KA_.2", permitindo alimentar o barramento de entrada com 3,7; 7,4; 11,1; 14,8 V_{DC}, conforme as tensões das baterias e das associações entre elas.

Ao recorrer-se a ligações de baterias em paralelo, série ou até a conjugação de ambas, consegue-se diversificar a forma como disponibilizamos a energia, dotando o sistema de

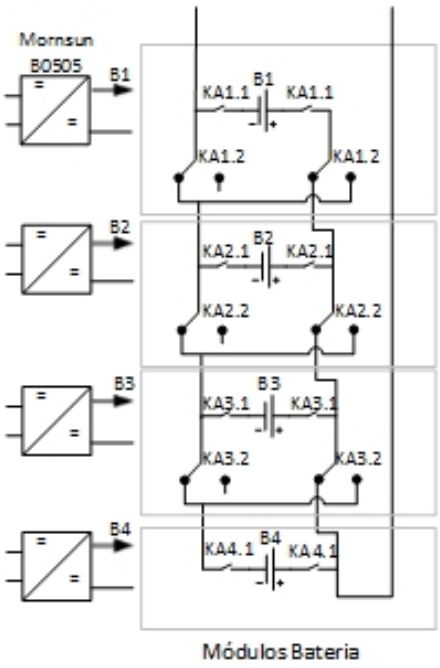


Figura 3.12: Esquema das ligações entre os "módulos bateria"

adaptabilidade para responder às condicionantes do mercado.

Assim, uma ligação em paralelo permite aumentar a capacidade das baterias e a tensão permanece inalterada e igual ao valor de cada uma das baterias conectadas. Este tipo de conexão pode ser utilizada, por exemplo, para realizar o carregamento rápido de um VE, em que é necessário valores de intensidade de correntes elevados.

Quanto à ligação em série, esta permite o aumento da tensão do sistema sem que haja influência na capacidade das baterias. Consequentemente, pode-se vir a utilizar este tipo de ligação para, por exemplo, proceder ao carregamento lento de um VE, em que os níveis de corrente são mais reduzidos.

Ao realizar-se uma conexão mista, tira-se proveito das caraterísticas referidas anteriormente dos dois tipos de ligações, podendo-se adaptar o circuito ao tipo de utilização.

3.2.3 Síntese do protótipo

A conjugação das secções anteriores resulta na figura 3.13, onde se evidencia as ligações do circuito e os componentes necessários à construção do protótipo. De modo a não saturar o esquema, nos "módulos bateria" não se observa como é realizada as medições de tensão e corrente, pois estas são efetuadas de forma semelhante aos outros módulos. Cada um destes módulos comunica com a placa central, que está conectada ao computador.

Na figura 3.14 é visível o protótipo na sua versão final, com todos os componentes necessários ao seu bom funcionamento. De seguida identifica-se os componentes representados na figura 3.14, já descritos anteriormente.

1. Fonte;
2. "Módulo de Carga";

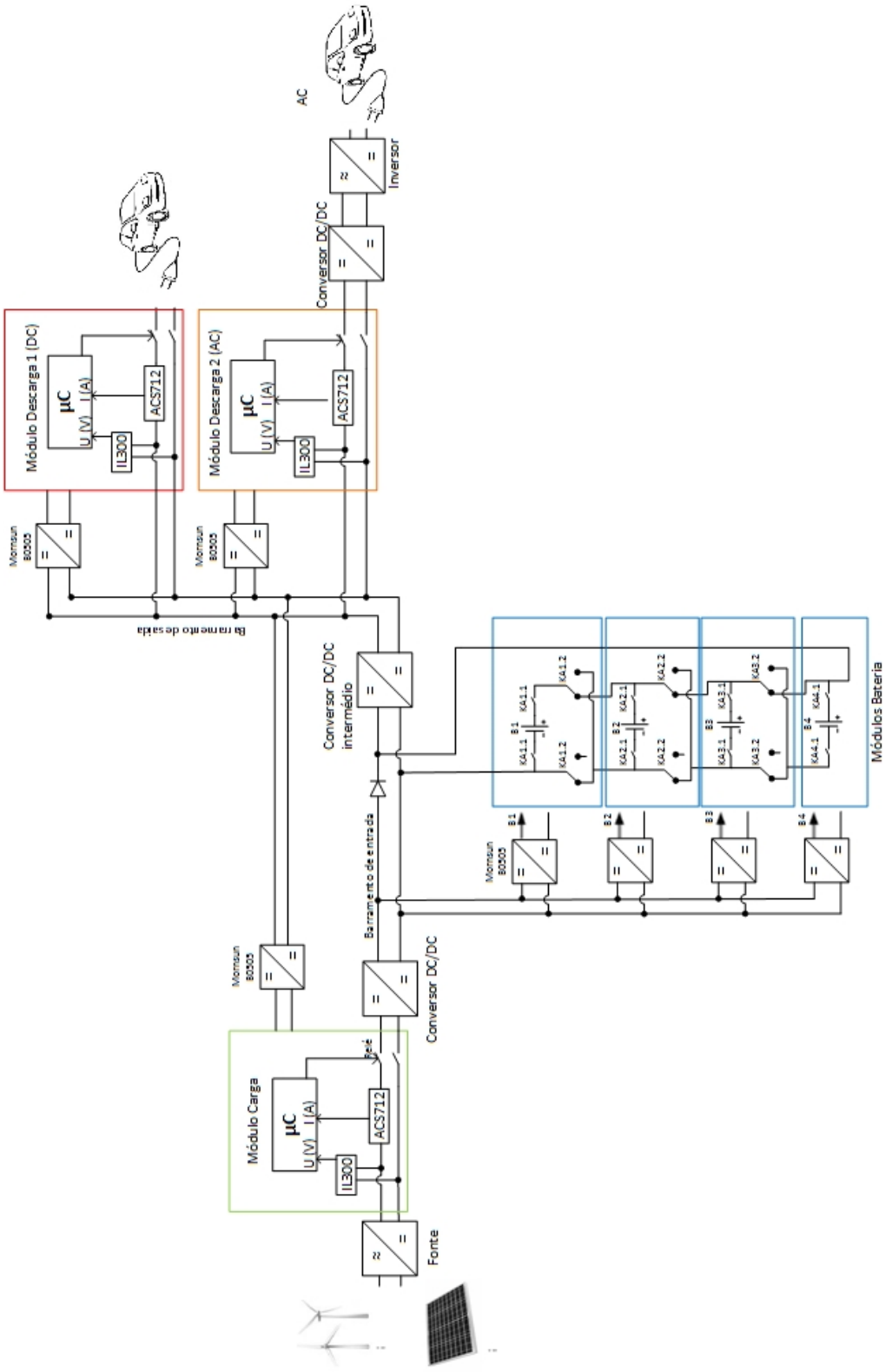


Figura 3.13: Diagrama funcional do sistema

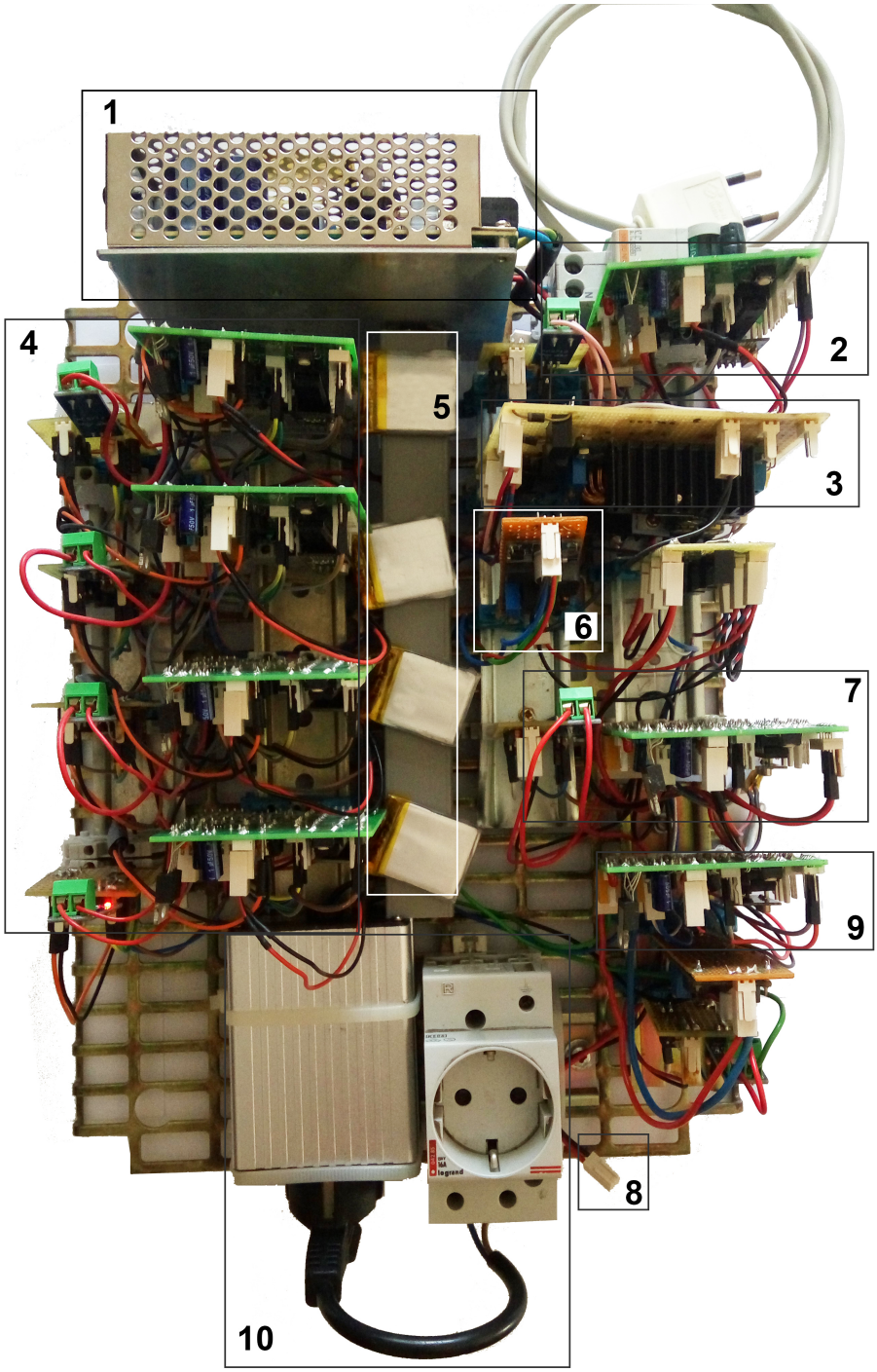


Figura 3.14: Protótipo

3. Conversor DC/DC;
4. "Módulos Bateria";
5. Baterias;
6. Conversor DC/DC intermédio;
7. "Módulo de Descarga 1";
8. Saída 1 (5 V_{DC});
9. "Módulo de Descarga 2";
10. Inversor e saída 2 (AC).

3.2.4 *Software*

Nesta subsecção são referidos os programas utilizados e o *software* implementado no desenvolvimento deste projeto. Relativamente ao *software* implementado, pode-se considerar a sua divisão em duas partes. A primeira parte é o *software* implementado nos microcontroladores dos diferentes módulos, enquanto a segunda parte é o *software* implementado na "Central", que neste caso é um computador, que serve de interface com o sistema.

3.2.4.1 Microcontroladores

De forma a programar os microcontroladores foi utilizado o programa MPLAB X IDE da Microchip. Este programa é destinado ao desenvolvimento de aplicações para microcontroladores fabricados pela Microchip, permitindo a criação e edição de projetos bem como o *debugging* e programação destes no microcontrolador. Quanto ao código fonte dos projetos, o MPLAB permite a escrita em linguagem C ou em *assembly*, mas dado que a linguagem de programação C permite o desenvolvimento de código estruturado e simples, e a maior familiaridade do autor com esta, recorreu-se à sua utilização para construção do código.

O *software* implementado nos microcontroladores é responsável pelo processamento automático desta solução. Dependendo do módulo em que está inserido o microcontrolador terá funções diferentes, funções estas que irão desde a aquisição dos sinais de entrada a disponibilizar o acesso à informação recolhida ao operador, na aplicação do computador, através da comunicação via RS-232.

Assim, optou-se por explicar o *software* implementado em cada um dos módulos do sistema.

-"Módulos bateria"

O funcionamento do *software* implementado no microcontroladores dos "módulos bateria" pode ser melhor compreendido através do fluxograma presente na figura 3.15.

A partir do fluxograma da figura 3.15 retira-se que o *software* obedece ao seguinte procedimento:

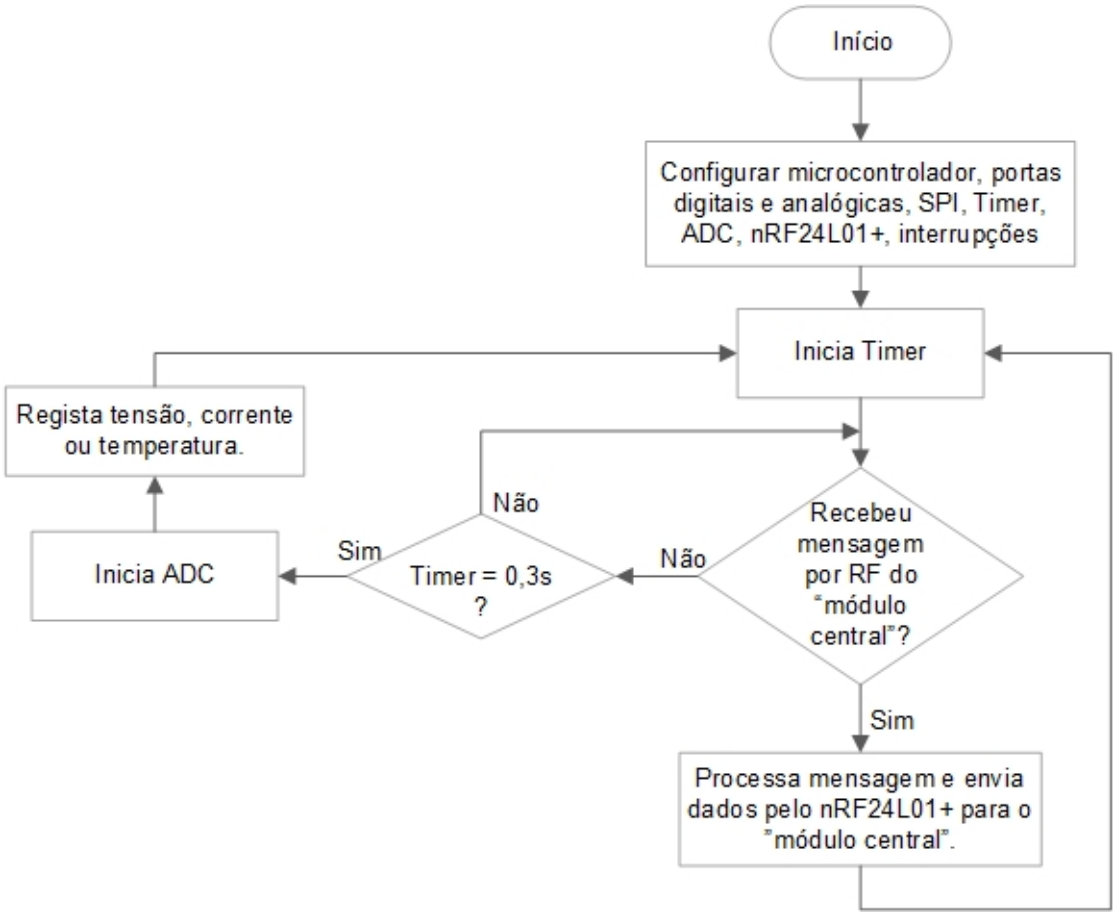


Figura 3.15: Fluxograma do *software* dos "módulos bateria".

1. O microcontrolador ao inicializar o *software* tem de percorrer um conjunto de funções de configuração. Englobando a configuração de quais as portas digitais ou analógicas, entradas e saídas digitais, configuração do *Timer*, ADC e interface SPI encarregue da comunicação com o módulo nRF24L01+, configuração do módulo nRF24L01+ no modo de receção de dados e interrupções;

2. O *Timer* é iniciado e, caso não exista nenhuma mensagem do "módulo central" e tenha passado 0,3 s depois de iniciado o *Timer* é iniciada a conversão ADC e reiniciado o *Timer*.

3. Posteriormente é registado os valores lidos dos sensores de tensão, corrente e temperatura;

4. Ao receber uma mensagem por rádio frequência o *software* descodifica-a e atua de acordo com o pedido. Logo de seguida é enviada a resposta, também por rádio frequência, para o "módulo central". Volta ao segundo ponto.

-"Módulos carga e descarga"

O *software* presente nos microcontroladores dos "módulos carga e descarga" encontra-se descrito nos fluxogramas das figuras 3.16 e 3.17.

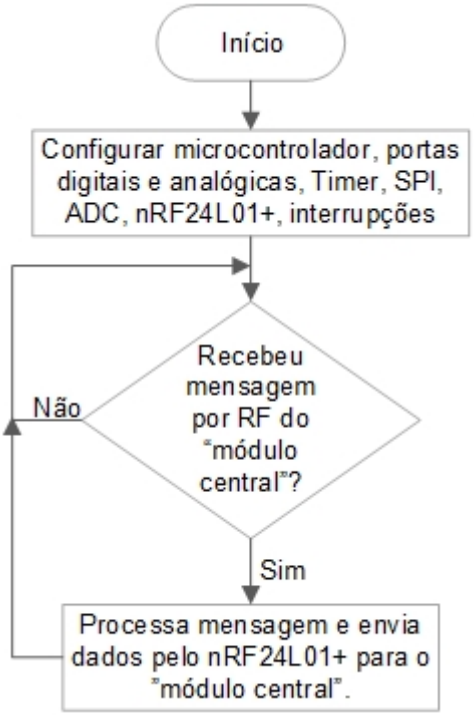


Figura 3.16: Fluxograma do *software* geral dos "módulos carga e descarga".

De acordo com a figura 3.16 o procedimento do *software* é o seguinte:

1. O microcontrolador inicia o *software* realizando diversas configurações iniciais. Começa por configurar portas digitais ou analógicas, entradas e saídas digitais, configura o ADC, configura o *Timer* com o intervalo de tempo de um segundo, configura a interface ADC encarregue da comunicação com o módulo nRF24L01+, configura o módulo nRF24L01+ e interrupções;

2. O microcontrolador configura o módulo nRF24L01+ no modo de receção de dados para que esteja esteja sempre à "escuta";

3. Quando é recebida alguma mensagem com origem no "módulo central" o *software* descodifica-a e atua de acordo com o pedido, enviando de seguida a resposta ao pedido, também por rádio frequência, para o "módulo central". Volta ao ponto anterior.

Nestes módulos é realizada a medição de energia consumida tanto no carregamento como descarregamento das baterias. Assim, ao receber uma mensagem por rádio frequência o *software* do microcontrolador descodifica-a e, se a mensagem for relacionada com a medição de energia o *software* aplicado será o representado no fluxograma da figura 3.17.

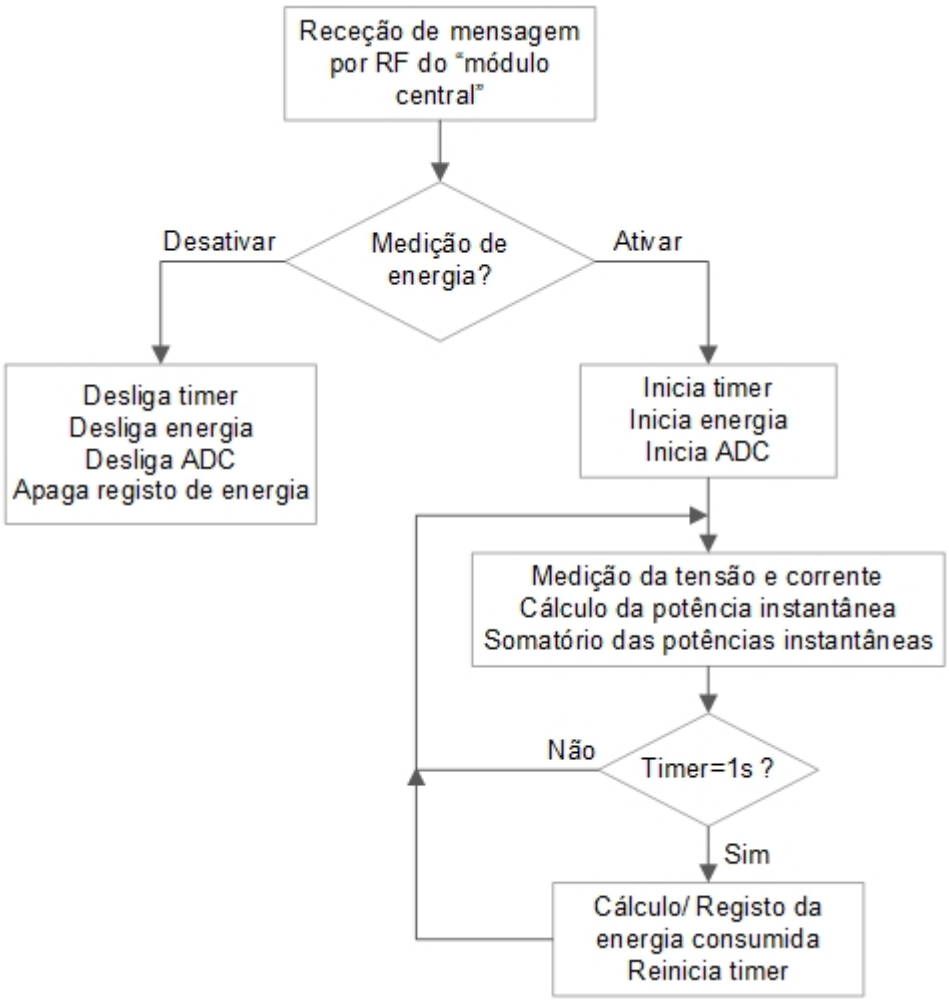


Figura 3.17: Fluxograma da função de medição de energia.

O procedimento para a medição de energia nos "módulos de carga e descarga" é o seguinte:

1. Se o pedido é de ativar a medição de energia é inicializado o *Timer*, a conversão analógica-digital e ativado o relé que permite a passagem de energia;

2. Medição da tensão e corrente e o respetivo cálculo da potência instantânea utilizando os valores anteriores. O valor de potência instantânea é então somado ao anterior até que o *Timer* seja igual a um segundo;

3. Quando o *Timer* for igual a um segundo é calculado o valor da energia consumida num segundo, a partir da média dos valores de potência instantânea. É reiniciado o *Timer* e o valor de energia é somado ao anterior e registado. Volta ao segundo ponto;

4. Se o pedido é de desativar a medição de energia é desligado o *Timer*, a conversão analógica-digital e a passagem de energia elétrica. Também se apaga o registo de energia até aquele momento.

-"Módulo central"

Por último, observa-se no fluxograma da figura 3.18 a descrição do *software* implementado no "módulo central".

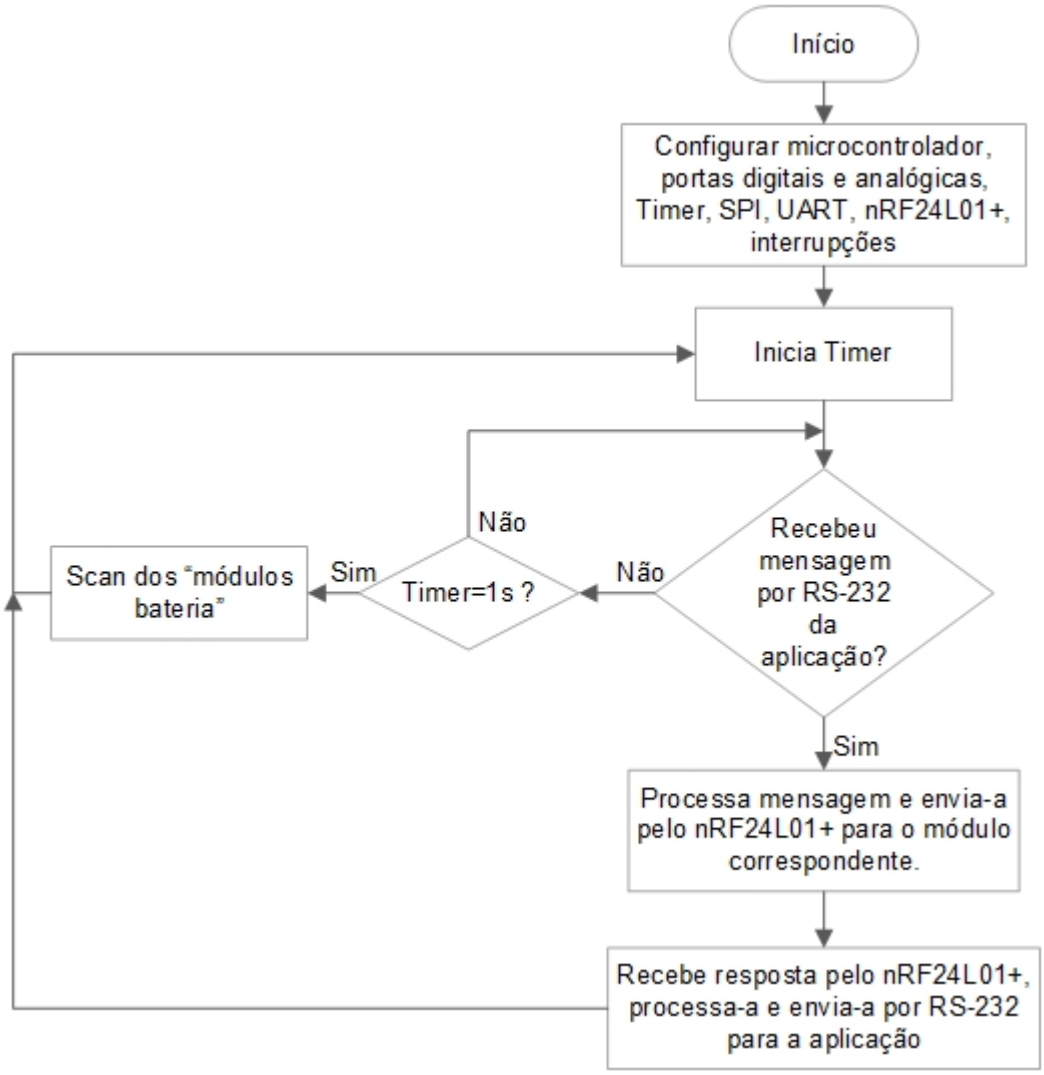


Figura 3.18: Fluxograma do *software* do "módulo central".

O procedimento do *software* utilizado no microcontrolador, descrito na imagem anterior, é o seguinte:

1. O microcontrolador começa por configurar portas digitais ou analógicas, entradas e saídas digitais, interrupções, configura a interface SPI encarregue da comunicação com o módulo nRF24L01+, configura o módulo nRF24L01+ e configura a UART (*Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter*) para comunicação com a aplicação de interface com o utilizador;

2. É iniciado o *Timer* e enquanto o microcontrolador não recebe nenhuma mensagem por RS-232 é realizado um *scan* do estado dos "módulos baterias" e são enviados

estes dados por RS-232 para a aplicação;

3. Ao receber uma mensagem por RS-232 da aplicação, o *software* processa-a e reencaminha-a para o módulo correspondente por rádio frequência;

4. Espera pela receção da resposta por rádio frequência e, ao receber a resposta, descodifica-a e envia-a para a aplicação. Volta ao segundo ponto.

3.2.4.2 Aplicação para o computador

A aplicação local consiste numa interface desenvolvida para ambiente *Windows*, optando-se pela utilização de uma programação em *Visual Basic* (VB). Esta aplicação foi elaborada no *software* Microsoft Visual Basic 2010 Express, *software* utilizado no decorrer do curso e que provou ser uma ferramenta versátil e de fácil aprendizagem. O *Visual Basic* é uma linguagem de programação, desenvolvida pela Microsoft, que deriva da linguagem de programação *Basic*. O *software* possui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) gráfico que facilita a construção rápida de aplicações de interfaces gráficas para o utilizador e permite o acesso a bases de dados como Microsoft SQL Server, MySQL, entre outras.

Ao iniciar a aplicação o utilizador depara-se com uma janela de *login* em que são pedidos os dados do utilizador e respetiva senha, figura 3.19. Como a aplicação é dirigida a uma entidade só existe um tipo de utilizador que tem todas as permissões, podendo visualizar e controlar o comportamento do sistema.

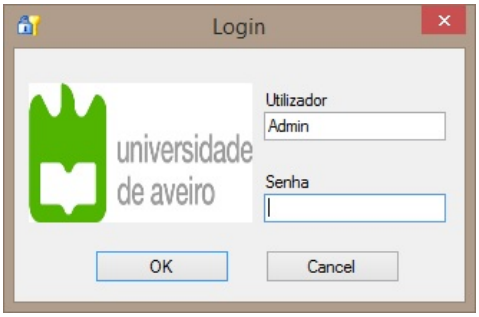


Figura 3.19: Janela de autenticação do utilizador.

O utilizador só pode aceder à janela principal da aplicação após introduzir corretamente os dados pedidos na janela de *login*, caso contrário não é permitido que avance, mantendo-se a janela de de autenticação do utilizador visível e a principal bloqueada.

Efetuada a autenticação do utilizador é concedido acesso à janela principal, figura 3.20, onde, de cima para baixo, são visíveis diversas informações sobre o sistema entre as quais:

- Acesso à base de dados;
- Informações sobre a matriz de baterias;
- Informações sobre as baterias presentes no camião, neste caso será correspondente a uma só matriz de baterias;
- Estado e controlo da carga e descarga das baterias;

- Controlo do funcionamento do sistema.
- Estado da ligação ao sistema.

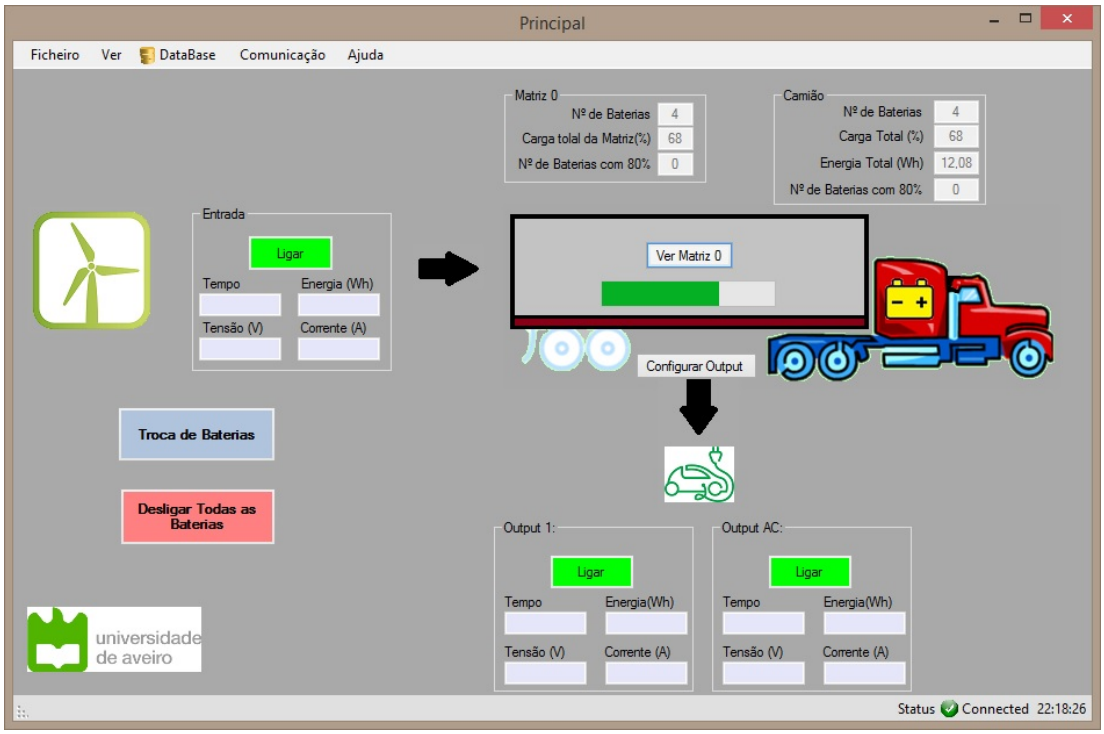


Figura 3.20: Janela principal da aplicação.

Porém para comunicar com o sistema e receber informação deste, primeiro é necessário estabelecer a comunicação. Assim, deve-se proceder à definição dos parâmetros de comunicação, figura 3.21, no menu "Comunicação" da barra de menus, situada na parte superior da aplicação.

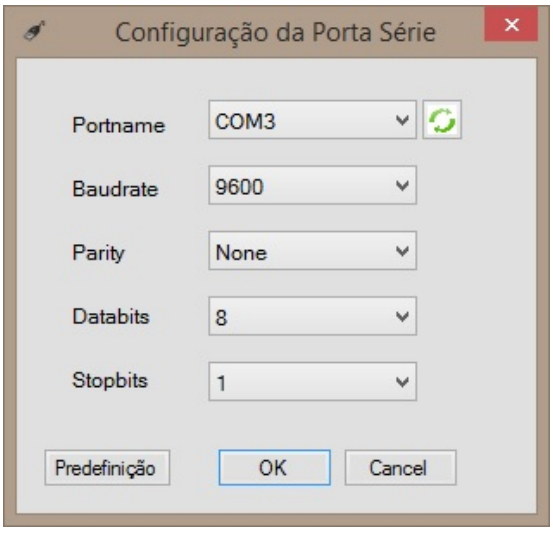


Figura 3.21: Janela de configuração da porta série.

Uma vez estabelecida a conexão a aplicação começará a receber dados provenientes do sistema que atualizarão a interface gráfica da aplicação. De forma a visualizar o valor das variáveis do sistema, especificamente os valores de tensão, corrente e temperatura do conjunto de baterias, o utilizador tem de clicar no botão " Ver Matriz 0". Esta ação abrirá a janela visível na figura 3.22 e, para além da visualização dos dados enumerados anteriormente, também é possível controlar o tipo de ligação e a conexão, ou não, de cada uma das baterias ao circuito elétrico.

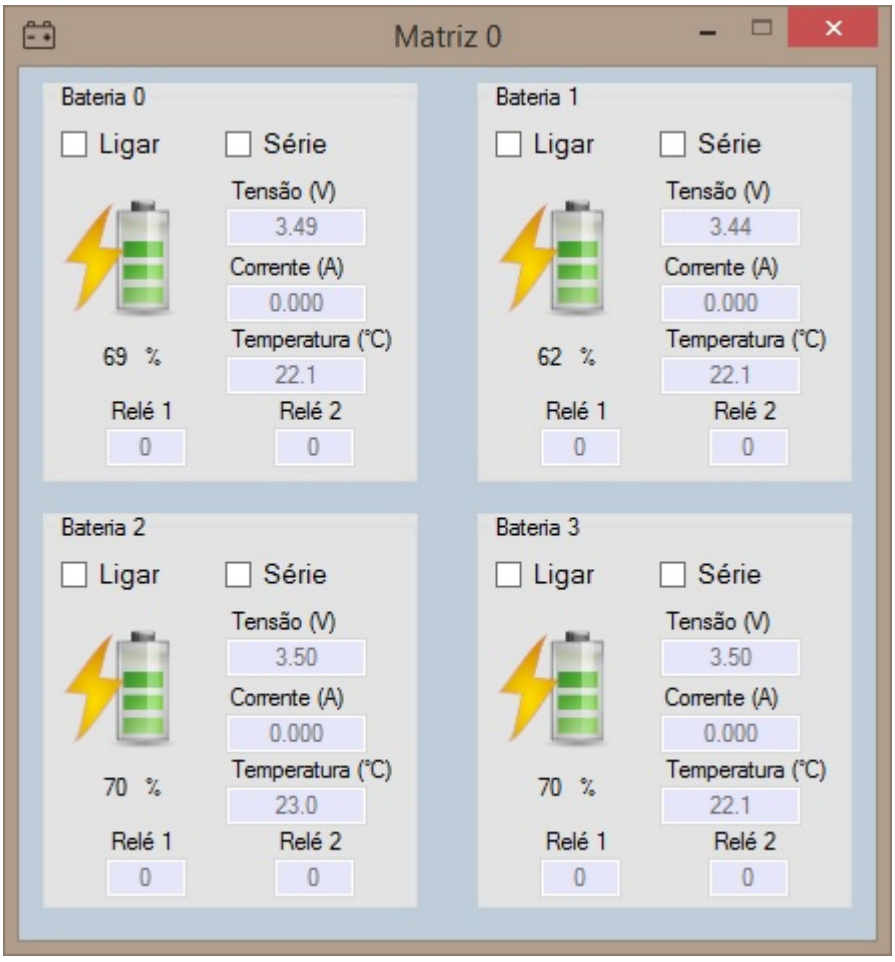


Figura 3.22: Janela de visualização do estado da matriz 0.

Por outro lado, também é possível controlar a carga, descarga e troca de baterias. Assim, para efetuar o carregamento é preciso estabelecer a ligação elétrica do sistema a uma fonte de energia e depois o utilizador clica no botão "Ligar" da caixa de texto "Entrada", visível na janela principal da aplicação, figura 3.20. Esta ação abrirá uma nova janela, figura 3.23, em que é pedido ao utilizador que introduza alguns dados, como o tipo de fonte de energia, nome do produtor, *etc.* O clique no botão "OK" dá início à operação de carregamento e fecha esta janela, sendo possível observar a energia consumida, o tempo decorrido, a tensão e a corrente da operação na janela principal, mais especificamente na caixa de texto "Entrada".

O cessamento desta operação é efetuado da mesma forma que foi iniciado, ou seja basta clicar no botão "Desligar", que aparece em vez do botão "Ligar", abrindo novamente a janela de configuração do carregamento, figura 3.23, com os dados de carga já preenchidos, inclusive o preço já calculado a partir da energia consumida.

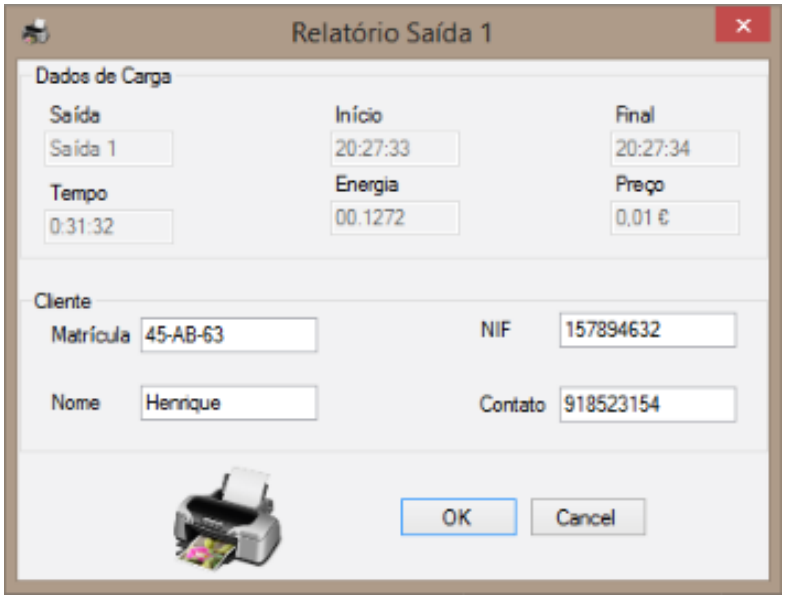


Figura 3.23: Janela de configuração do carregamento.

Antes de proceder à operação de descarga é importante verificar quais as baterias com carga suficiente para ser usadas nesta tarefa. Com esse propósito tem-se o botão "Configurar saída" na janela principal que permite a configuração de quais as baterias que fornecem energia para a operação. Como se observa na figura 3.24 é possível especificar a matriz de onde se pretende obter energia e, ao clicar na matriz pretendida, abre-se a janela do estado da matriz (figura 3.22) possibilitando a conexão e desconexão das baterias ao circuito, tal como a alteração do tipo de ligação entre baterias, como foi enunciado anteriormente.

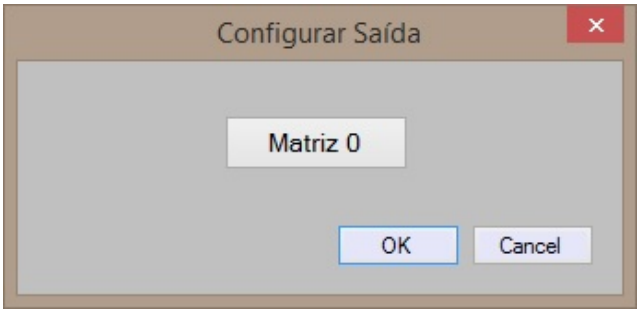


Figura 3.24: Janela de configuração da saída.

Relativamente à operação de descarga das baterias o procedimento é semelhante à operação de carga. A principal diferença é a do utilizador precisar de clicar no botão "Ligar" da caixa de texto "Saída", visível na janela principal.

Outra função inerente ao sistema é a troca de baterias. Para esse efeito na janela principal da aplicação encontra-se o botão "Troca de Baterias" que reencaminha o utilizador para a janela visível na figura 3.25. Na presente janela é possível identificar o estado e a carga de cada uma das baterias da matriz, sendo necessário selecionar uma das baterias antes de clicar no botão "Iniciar Troca". Ao carregar no botão o *software* envia uma mensagem para desconectar a bateria selecionada, assim o utilizador pode retirar e inserir a nova bateria em segurança.

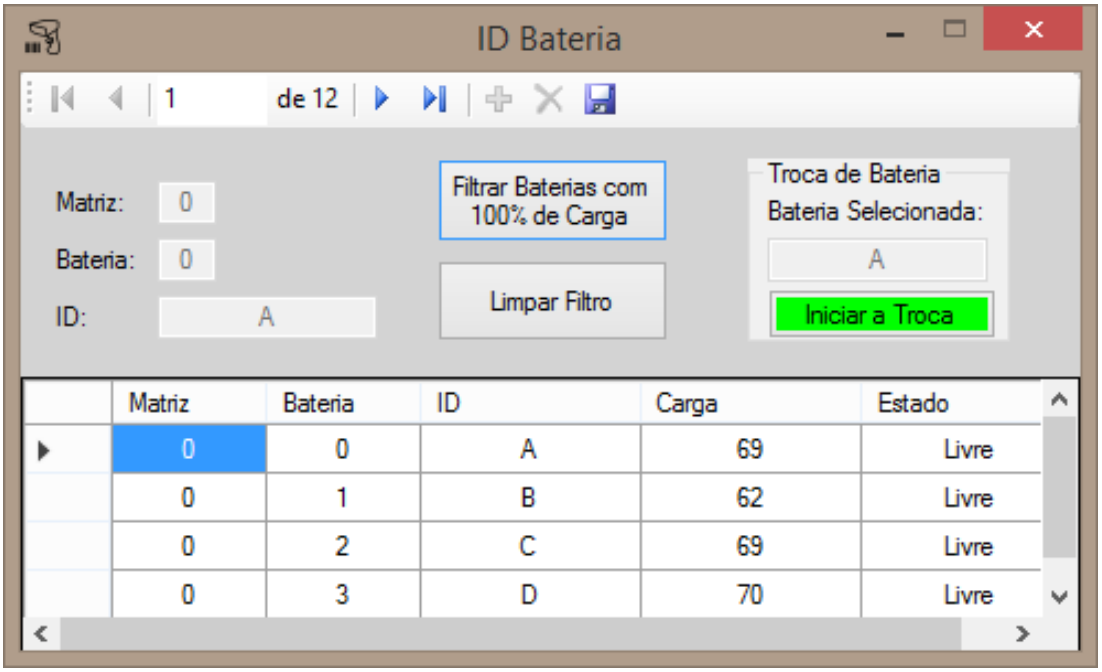


Figura 3.25: Janela de troca de baterias.

3.2.4.3 Base de dados

De forma a guardar informação proveniente do sistema é necessário que a aplicação local comunique constantemente com a base de dados. A base de dados escolhida foi o Microsoft SQL Server devido à facilidade de integração com a linguagem de programação *Visual Basic*, aceitando pedidos realizados por outros programas desde que use a linguagem SQL (*Structured Query Language*).

A base de dados é constituída por cinco tabelas: "Tabela_Bateria", "Tabela_InOut", "Tabela_ID_Bateria", "Tabela_Cliente" e "Tabela_Fatura".

O conteúdo destas tabelas é alterado pela aplicação local através de comandos SQL e além de possibilitar guardar dados oriundos do sistema também faculta a sua visualização nas respetivas tabelas. De seguida, serão apresentados exemplos de registo de cada uma das tabelas, acedidas pela aplicação local.

A "Tabela_Bateria", visível na figura 3.26, contém os registos das variáveis provenientes dos "módulos bateria", tais como a tensão, a corrente, a temperatura ambiente e o estado dos relés eletromecânicos. Além dessa informação também guarda a data e hora de registo e a identificação da bateria e matriz da qual faz parte.

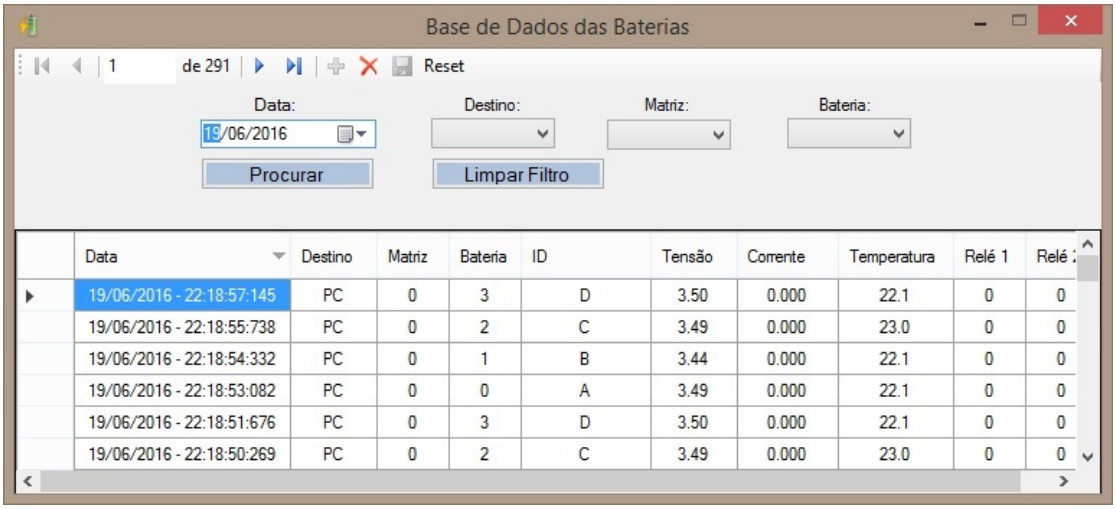


Figura 3.26: Exemplo de registo na "Tabela_Bateria" da base de dados

A "Tabela_InOut" engloba o registo das variáveis das operações de carga e descarga do sistema. Como se observa na figura 3.27, a tabela tem como atributos a origem da mensagem do registo, (*In* ou *Out* corresponde aos módulos de carga ou descarga, respetivamente), o destinatário da respetiva mensagem, a energia consumida na operação bem como a data e hora do registo. Consegue-se ainda observar que ao dar início às operações de carga e descarga a aplicação envia uma mensagem para o "módulo central"de cinco em cinco segundos de modo a atualizar o valor do consumo de energia.

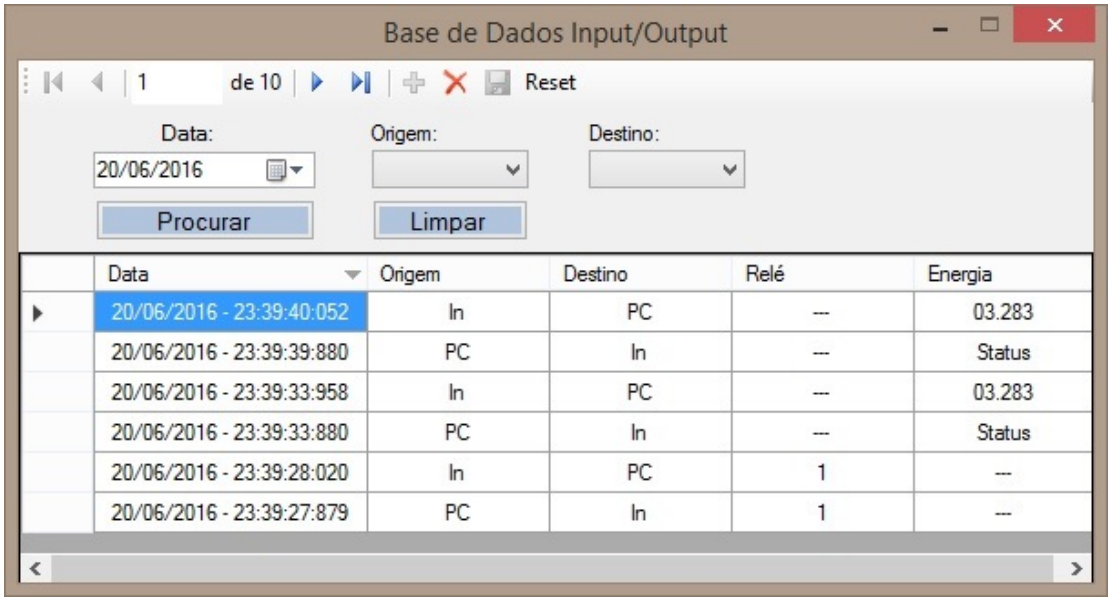


Figura 3.27: Exemplo de registo na "Tabela_InOut" da base de dados

A "Tabela_ID_Bateria", exibida na subsecção anterior, na figura 3.25, contém o registo da carga, o estado e a identificação de cada bateria presente no sistema. Permitindo ao utilizador a rápida identificação das baterias com carga, disponíveis para operações,

como a troca de baterias.

A "Tabela_Cliente", figura 3.28, guarda o registo de informações pessoais dos clientes, contendo dados como o nome, contacto e NIF (*Número de Identificação Fiscal*). Informações importantes para o registo do cliente no serviço e emissão rápida de faturas.

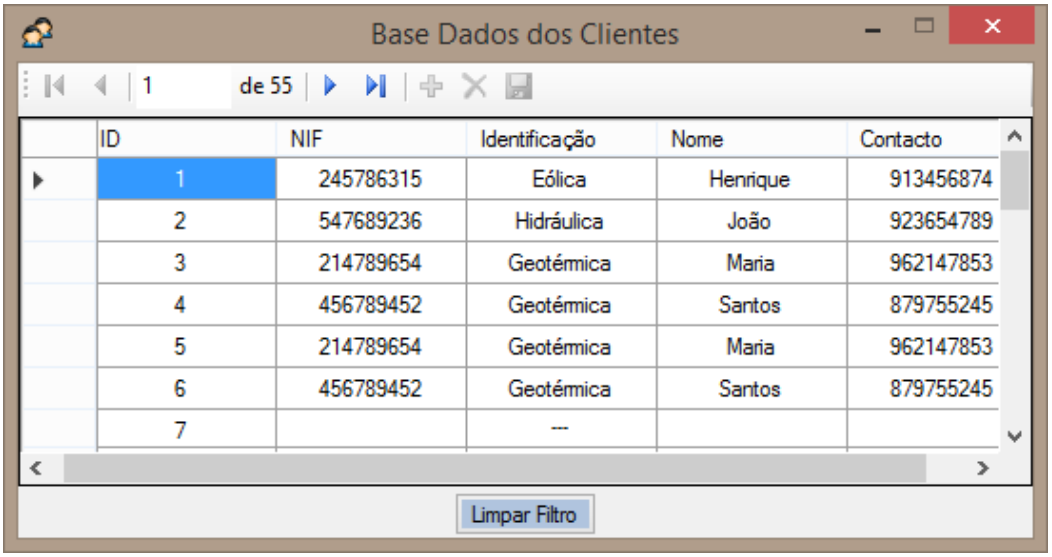


Figura 3.28: Exemplo de registo da "Tabela_Cliente" da base de dados

Por último, tem-se a "Tabela_Fatura", exposta na figura 3.29, contendo todas as informações necessárias para a impressão de faturas. Ou seja, através desta tabela obtém-se informação do tipo de operação realizada, a duração e energia consumida para além do preço resultante da operação. Com estes dados e conjugando o NIF e a data de registo, também disponível nesta tabela, pode-se efetuar a emissão de faturas.

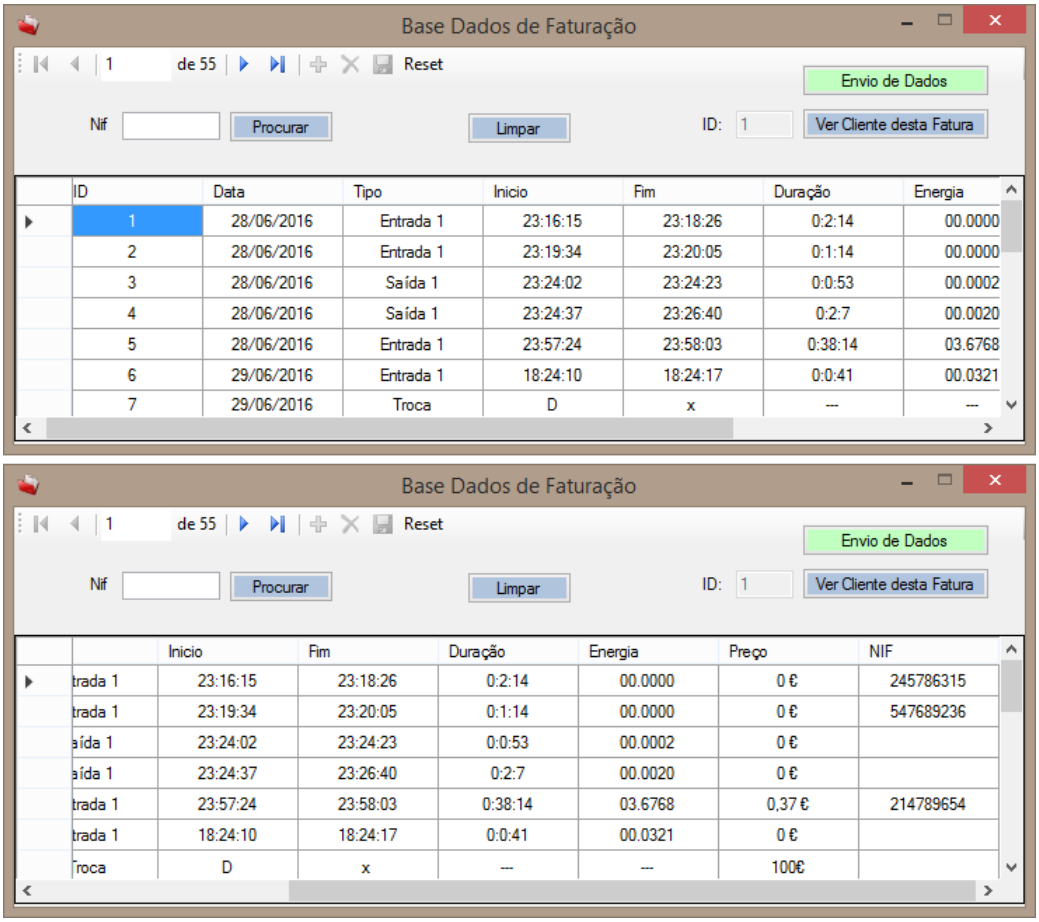


Figura 3.29: Exemplo de registo da "Tabela_Fatura" da base de dados

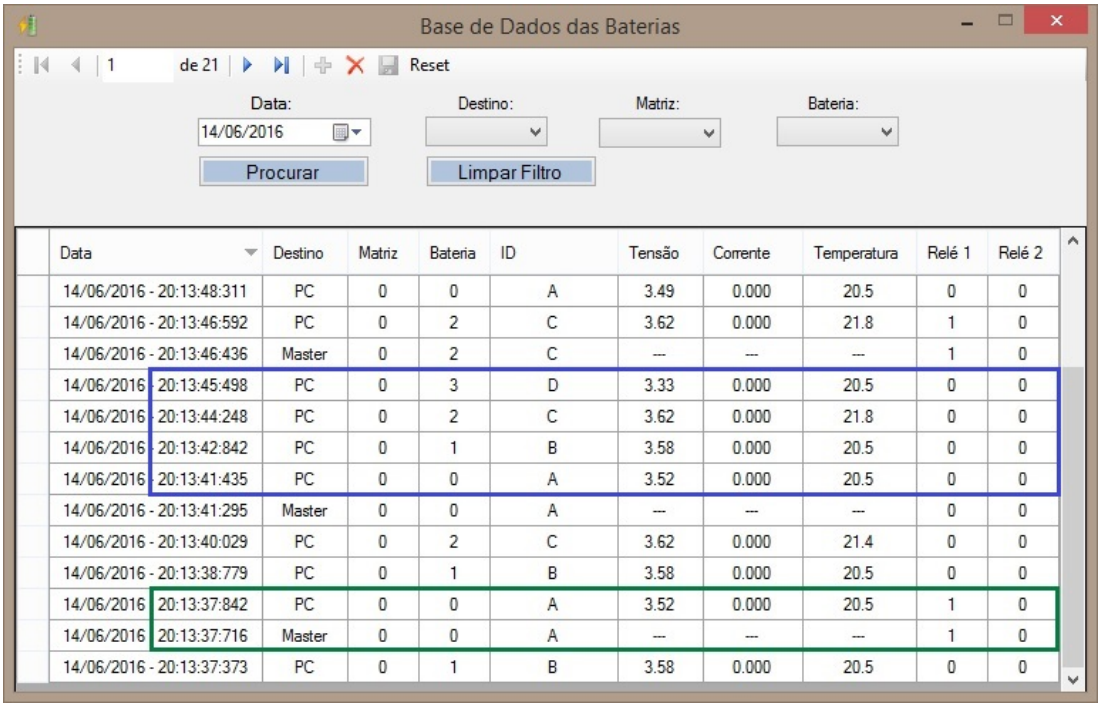
3.3 Resultados e Discussão

Na presente secção serão apresentados os resultados obtidos na implementação do sistema.

3.3.1 Comunicação

O autor começou por verificar a comunicação, ou seja, o envio de dados entre os módulos presentes na traseira do veículo e o "módulo central" que, por sua vez, reencaminha para o computador. Projetou-se o envio de dados de um em um segundo para o *scan* dos "módulos bateria" e a resposta, o mais rápido possível, dos módulos para a aplicação a quando um pedido desta.

Na figura 3.30 pode-se observar a periodicidade de cada registo na base de dados. No retângulo a azul encontra-se o registo do *scan* aos "módulos bateria", em que se obteve um período entre registos muito próximo do projetado, aproximadamente um segundo. No retângulo a verde observa-se o registo das mensagens enviadas pela aplicação e a respetiva resposta, em que se constata uma diferença entre mensagens de apenas uma décima de segundo, aproximadamente.



Data	Destino	Matriz	Bateria	ID	Tensão	Corrente	Temperatura	Relé 1	Relé 2
14/06/2016 - 20:13:48:311	PC	0	0	A	3.49	0.000	20.5	0	0
14/06/2016 - 20:13:46:592	PC	0	2	C	3.62	0.000	21.8	1	0
14/06/2016 - 20:13:46:436	Master	0	2	C	---	---	---	1	0
14/06/2016 - 20:13:45:498	PC	0	3	D	3.33	0.000	20.5	0	0
14/06/2016 - 20:13:44:248	PC	0	2	C	3.62	0.000	21.8	0	0
14/06/2016 - 20:13:42:842	PC	0	1	B	3.58	0.000	20.5	0	0
14/06/2016 - 20:13:41:435	PC	0	0	A	3.52	0.000	20.5	0	0
14/06/2016 - 20:13:41:295	Master	0	0	A	---	---	---	0	0
14/06/2016 - 20:13:40:029	PC	0	2	C	3.62	0.000	21.4	0	0
14/06/2016 - 20:13:38:779	PC	0	1	B	3.58	0.000	20.5	0	0
14/06/2016 - 20:13:37:842	PC	0	0	A	3.52	0.000	20.5	1	0
14/06/2016 - 20:13:37:716	Master	0	0	A	---	---	---	1	0
14/06/2016 - 20:13:37:373	PC	0	1	B	3.58	0.000	20.5	0	0

Figura 3.30: Periodicidade de registo na base de dados

3.3.2 Medições e erros relativos

Relativamente às medições de tensão e corrente foi necessário proceder à calibração dos respetivos sensores. Para tal foi utilizado uma fonte de alimentação variável e um multímetro de modo a obter o valor real. De seguida, solicitou-se ao *hardware* a aquisição de dados para diferentes níveis de tensão e corrente em que foram recolhidos os valores após os microcontroladores converterem os dados adquiridos pelos sensores. Por fim, foi necessário proceder a uma análise dos resultados obtidos de forma a criar uma relação entre os mesmos e os valores dados pelo multímetro, concluindo o processo de calibração dos sensores de tensão e corrente.

Conseguinte o autor apresenta os resultados da calibração, em que se realizou a aquisição de dados para diferentes níveis de tensão e corrente de forma a serem determinados os erros de medição relativos. A figura 3.31 representa os valores de tensão obtidos pelo "sensor" IL300 dos "módulos bateria" (a cor de laranja) em comparação com a medição do multímetro (a azul escuro).

A tabela 3.4 apresenta os valores de tensão obtidos nos "módulos de bateria" e no multímetro, bem como os seus respetivos erros. A partir da análise desta tabela é possível verificar que os erros associados a estas medições são aceitáveis, visto que os valores com erros relativos superior a 2% não se encontram no intervalo de valores em que o "sensor" irá operar, de 2,7 a 3,7 V.

Para detetar os erros de medição associados aos "módulos carga e descarga" foi utilizado o mesmo procedimento acima descrito. Apesar de ambos possuírem o mesmo "sensor" de tensão teve-se de utilizar resistências de valores diferentes, de forma a poder realizar as medições de tensões mais elevadas, cerca de 10 V, sem que o IL300 se danifique. Na figura 3.32 observam-se os valores de tensão medidos pelos "módulos carga e

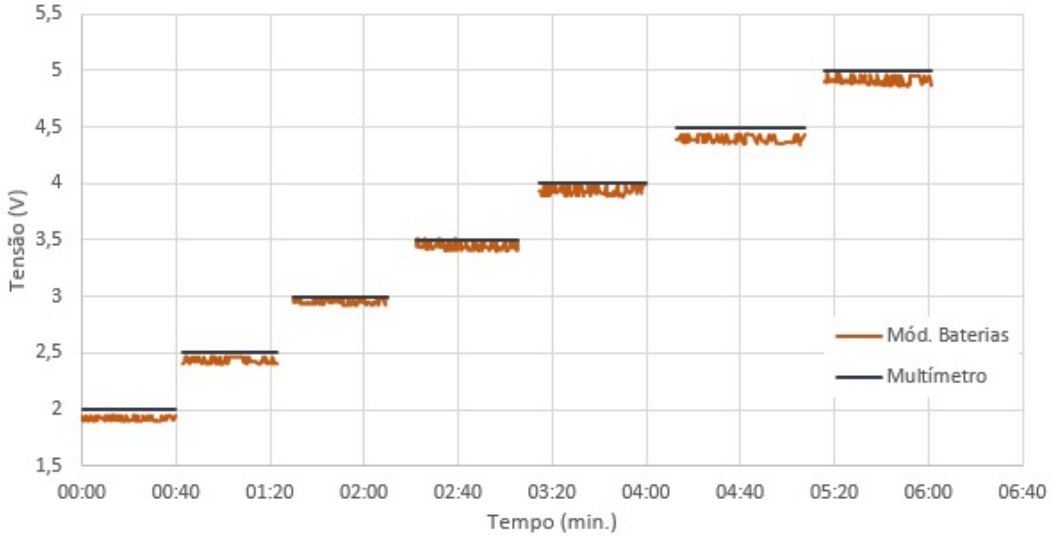


Figura 3.31: Valores de tensão nos "módulos bateria"

Tabela 3.4: Erros de medição dos valores de tensão nos "módulos bateria"

Multímetro (V)	**Mód. Bateria (V)**	**Erro relativo (%)**
2	1,92	4,02
2,5	2,44	2,55
3	2,95	1,53
3,5	3,45	1,54
4	3,94	1,60
4,5	4,39	2,46
5	4,92	1,70

descarga", cor verde, e os valores obtidos do multímetro, a azul escuro.

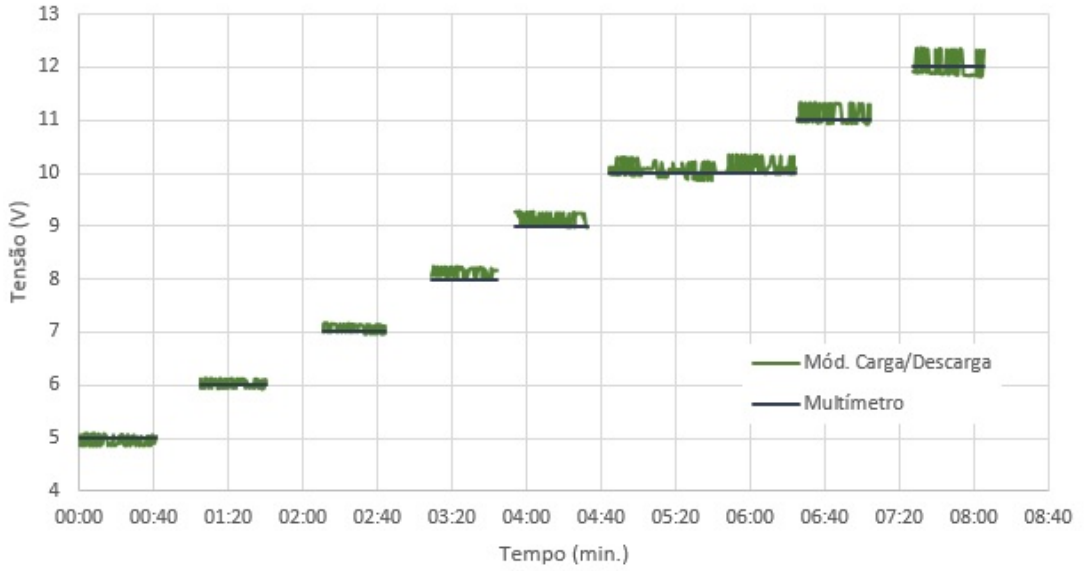


Figura 3.32: Valores de tensão nos "módulos carga e descarga"

Na tabela 3.5 estão representados os valores obtidos pelas medições dos "sensores" de tensão e respetivos erros relativos. Observando os resultados apresentados na tabela 3.5 verifica-se que, no geral, se obteve valores de tensão próximos do real, com erros menores que 2%.

Tabela 3.5: Erros de medição dos valores de tensão nos "módulos carga e descarga"

Multímetro (V)	**Mód. Bateria (V)**	**Erro relativo (%)**
5	4,86	2,88
6	6,03	0,46
7	7,09	1,25
8	8,13	1,63
9	9,14	1,50
10	10,08	0,82
11	11,09	0,81
12	12,00	0,00

De seguida expõe-se os resultados obtidos para as medições de corrente. Seguiu-se o mesmo procedimento acima descrito, em que se efetua várias medições para diferentes níveis de intensidade de corrente. Deste processo resulta a figura 3.33 onde se representa os valores de corrente (a cor de laranja) medidos pelos "módulos bateria" através do sensor ACS712, e os valores medidos pelo multímetro (a azul escuro).

A tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos na medição de corrente nos "módulos bateria", em que se verifica que os valores medidos são muito próximos aos valores reais (multímetro). Apesar disso obtiveram-se erros relativos mais elevados do que na medição de tensão, devido aos baixos valores de corrente (máximo de 2 A).

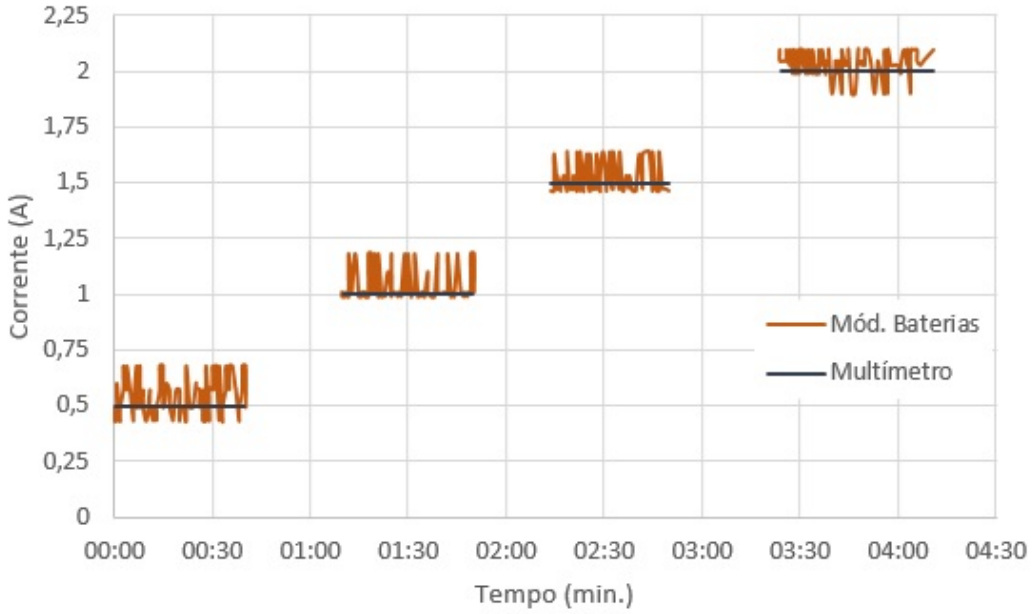


Figura 3.33: Medição dos valores de corrente nos "módulos bateria"

Tabela 3.6: Erros de medição dos valores de corrente "nos módulos bateria"

Multímetro (A)	**Mód. Bateria (A)**	**Erro relativo (%)**
0,5	0,54	8,24
1	1,04	3,80
1,5	1,53	1,94
2	2,04	1,89

Relativamente aos "módulos de carga e descarga" e dado que o sensor de corrente implementado é o mesmo em todos os módulos, apenas é relevante expor os resultados obtidos da medição de corrente e os erros relativos correspondentes, demonstrados na tabela 3.7.

Tabela 3.7: Erros de medição dos valores de corrente nos "módulos carga e descarga"

Multímetro (A)	**Mód. Bateria (A)**	**Erro relativo (%)**
0,5	0,57	12,40
1	1,00	0,46
1,5	1,51	0,41
2	1,99	0,65

A partir da tabela 3.7 confirmam-se os resultados anteriores, em que se conclui que os sensores ACS712 devolvem valores muito próximos aos reais e com erros reduzidos.

Partindo dos dados apresentados anteriormente conclui-se que tanto as medições de tensão como corrente apresentam erros relativos reduzidos.

3.3.3 Testes ao funcionamento do sistema

Após a verificação de que os erros das medições são reduzidos, avançou-se para a realização de testes relativamente ao funcionamento do protótipo. Efetuaram-se três experiências, a primeira consiste na conexão de quatro baterias com carga aos "módulos bateria" onde através da aplicação no computador é possível monitorizá-las ao longo do tempo. A figura 3.34 apresenta o resultado deste teste.

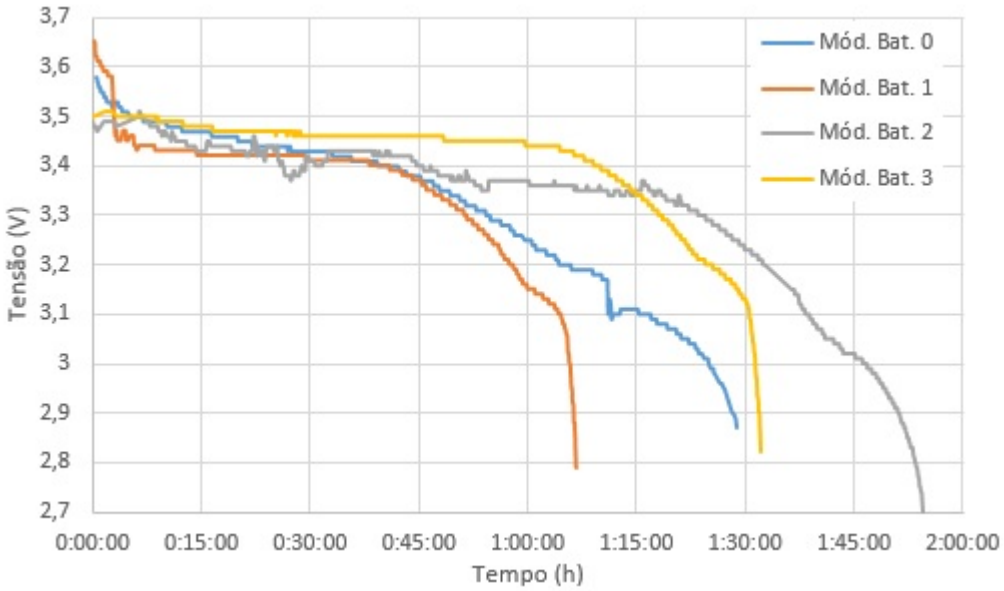


Figura 3.34: Descarga das baterias

De notar que cada bateria fornece energia à placa microcontrolada e aos seus sensores. Da análise da figura 3.34 conclui-se que as baterias utilizadas têm uma autonomia entre

uma e duas horas. Ou seja, a placa microcontrolada e os seus sensores têm um reduzido consumo sendo adequadas para a sua função. No que diz respeito às baterias, algumas já não têm a mesma capacidade de armazenamento de quando são novas, estando "viciadas", descarregando mais rápido do que é devido e não carregando totalmente.

Dado que as baterias se encontravam descarregadas procedeu-se ao seu carregamento. Através da aplicação local deu-se início à operação de carregamento e, tal como anteriormente, com os dados recolhidos da aplicação construiram-se dois gráficos. Na figura 3.35 observa-se o registo do consumo de energia elétrica ao longo do tempo, em que os valores foram recolhidos do "módulo de carga". A figura 3.36, mostra a evolução da tensão nas baterias até ao término do carregamento, sendo que estes dados são recolhidos através dos "módulos bateria".

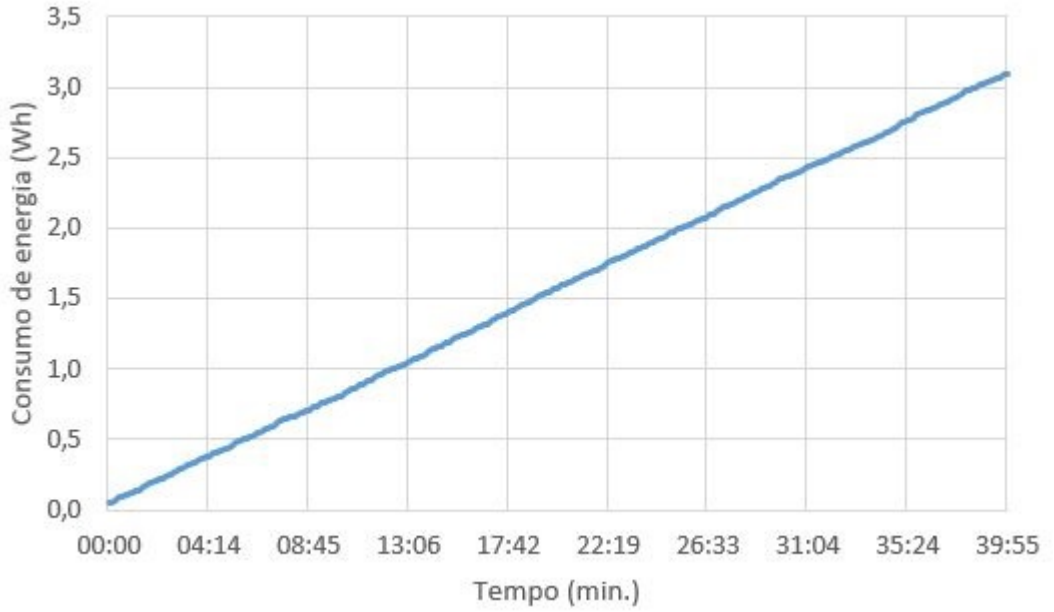


Figura 3.35: Consumo de energia elétrica da operação de carga

Analisando as figuras anteriormente descritas conclui-se que as as baterias carregam a velocidades diferentes e atingem diferentes patamares de tensão, em que as baterias zero e dois atingiram uma tensão máxima de aproximadamente 3,6 V enquanto as restantes carregaram até aproximadamente 3.7 V. Em termos de duração esta operação decorreu durante 40 minutos em que se consumiu 3,1 Wh.

Tendo em conta que cada bateria devia de armazenar 1,48 W e neste teste foram utilizadas 4 baterias, conclui-se que estas não conseguem armazenar o especificado pelo fabricante. Apesar desse facto, evidencia-se o funcionamento do protótipo, conseguindo carregar como era esperado e ao mesmo tempo monitorizar todas as baterias.

Por último, efetuou-se o teste ao funcionamento da operação de descarga. De forma a realizar esta operação e para simular um veículo elétrico com pouca carga utilizou-se uma bateria descarregada. Depois através da aplicação conectaram-se as baterias ao circuito e deu-se início à operação.

Na figura 3.37 visualiza-se o consumo de energia elétrica durante a operação, em que durante 16 minutos observa-se um consumo de energia elétrica constante e linear,

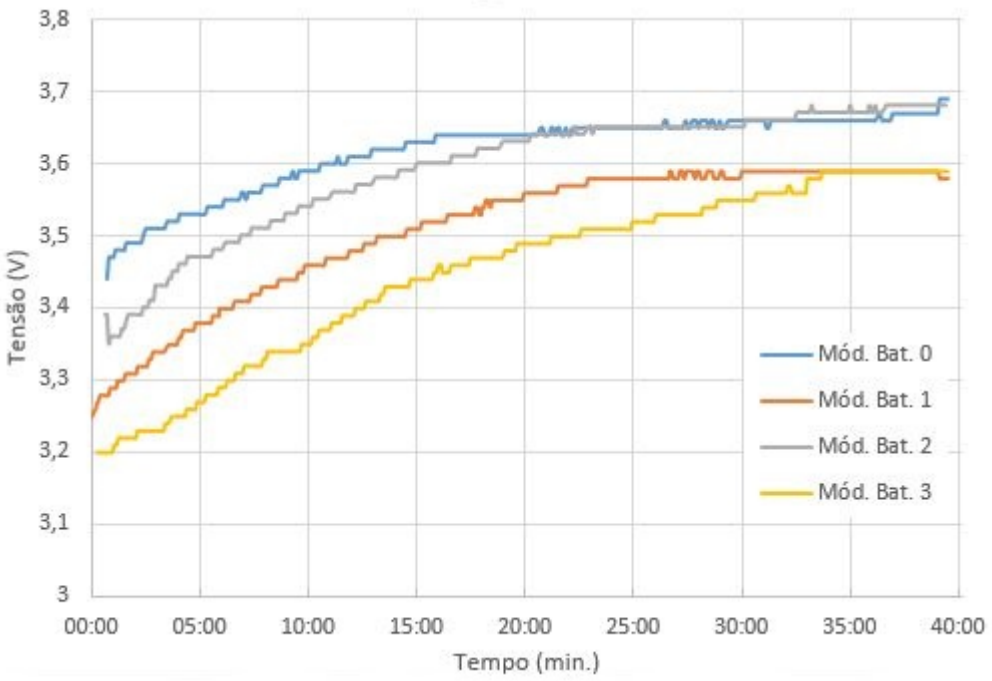


Figura 3.36: Evolução da tensão nas baterias durante a operação de carga

atingido aproximadamente 1,2 Wh. A partir desse valor o consumo de energia elétrica decresceu substancialmente e até ao fim da operação de descarga obteve-se um consumo de aproximadamente 1,3 Wh.

A bateria que foi utilizada para simular o veículo elétrico, carregou-se nos primeiros 16 minutos, facto verificado através do constante consumo de energia elétrica. A partir daí, como o consumo de energia elétrica baixou e praticamente estagnou, considera-se que a bateria já não estava a ser carregada.

Da operação de descarga retiraram-se também os dados relativos às baterias da matriz. A partir desses dados obteve-se o gráfico da figura 3.38 que demonstra a evolução da tensão das baterias. Nas quatro baterias nota-se uma discrepância do nível de tensão que possuem aquando o começo da operação, em especial a bateria 1 e 3, tendo como consequência o descarregamento mais rápido destas em relação às restantes pois têm uma menor capacidade de armazenamento de energia elétrica.

Como foi dito anteriormente no decorrer desta operação teve-se um consumo de 1,3 Wh e o descarregamento de duas baterias, e tendo em conta que durante a operação de carga das baterias da matriz obteve-se um consumo de 3,1 Wh, pode-se concluir que o protótipo funciona como pretendido pois os valores de consumo de energia elétrica nas operações de carga e descarga estão de acordo.

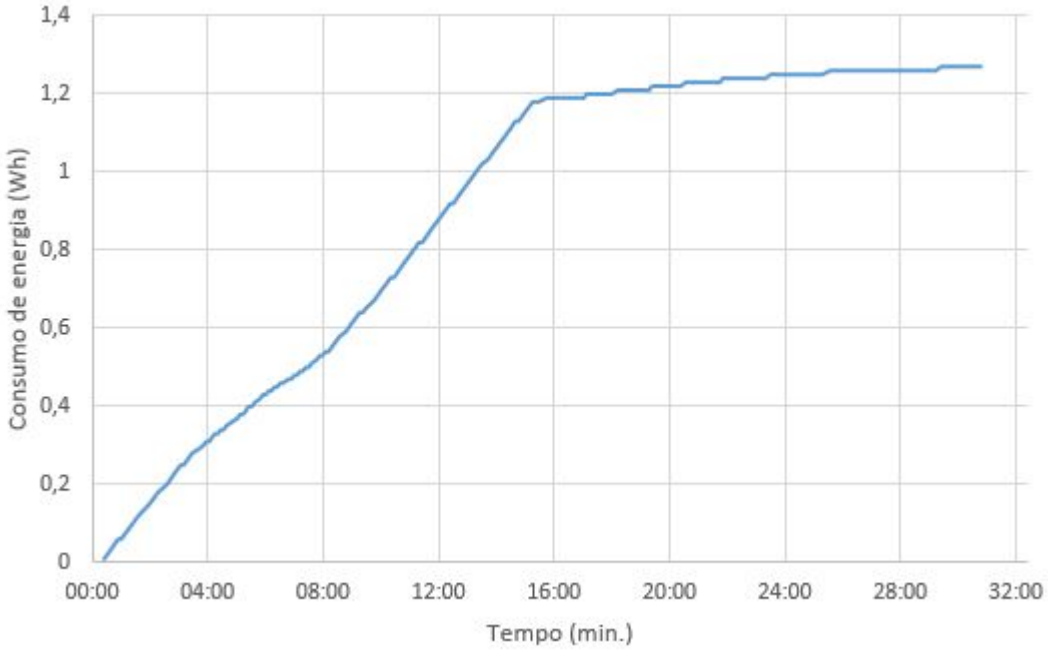


Figura 3.37: Consumo de energia elétrica da operação de descarga

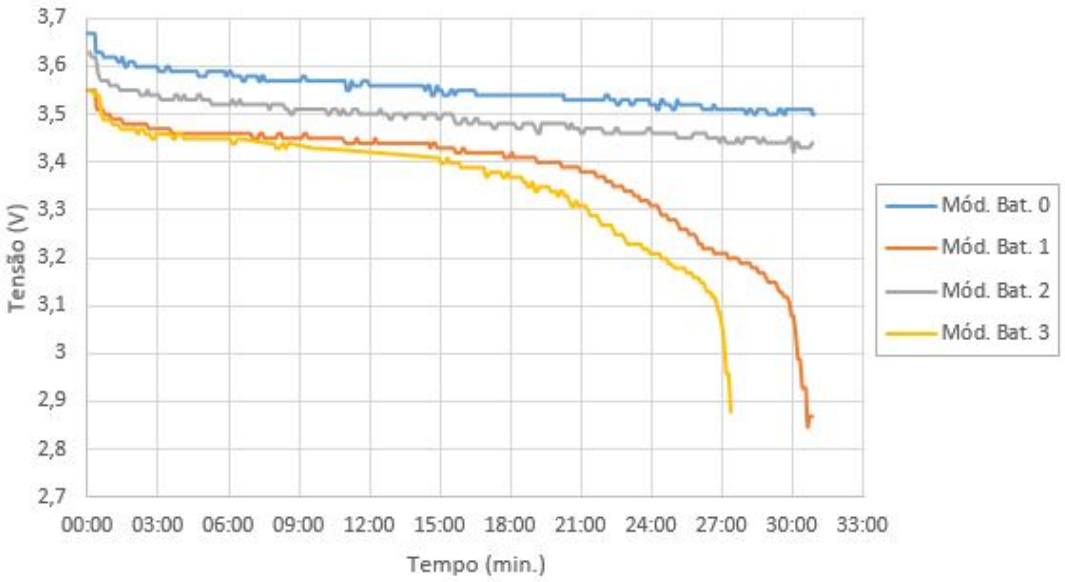


Figura 3.38: Evolução da tensão nas baterias durante a operação de descarga

Capítulo 4

Conclusões e Trabalho Futuro

4.1 Conclusões

Num momento em que se assiste a uma mudança de consciência por parte da população relativamente à sustentabilidade energética e ambiental, a questão da mobilidade elétrica deve ser tida em conta com especial atenção.

O veículo elétrico insere-se neste paradigma como elemento promotor da mobilidade elétrica. Contudo, para que se tornem uma alternativa viável aos veículos MCI é necessária a criação de novas soluções tecnológicas que permitam eliminar a sua baixa autonomia, principal desvantagem.

Assim, a presente dissertação teve como objeto de estudo o desenvolvimento e implementação de um sistema de armazenamento e transporte de energia elétrica, concluído com sucesso. Este permite a monitorização da tensão, corrente e temperatura das baterias. Possibilita, ainda, a monitorização e controlo das operações de carga e descarga de baterias, medindo a energia elétrica consumida.

Os objetivos iniciais foram alcançados, destacando, para o efeito, o estudo efetuado no capítulo 2 sobre os sistemas BMS e tecnologias sem fios, que permitiu dotar o sistema proposto de todas as funcionalidades e tecnologias necessárias.

A interface gráfica do sistema revelou-se muito útil porque permite ao utilizador verificar o estado das baterias, realizar diversas operações (carregamento das baterias, por exemplo)e, ainda, guarda as informações relevantes do sistema numa base de dados.

Ao longo deste projeto surgiram diversos obstáculos, que o autor precisou ultrapassar. Destes contratempos, salientam-se a dificuldade na programação dos módulos nRF24L01+, responsáveis pela comunicação no sistema e a dificuldade na calibração de sinais analógicos para valores de tensão e corrente. Além disso, conseguir o carregamento das baterias foi uma tarefa árdua, uma vez que não se alcançava os valores de tensão necessários, devido ao *hardware* das placas de circuito impresso utilizadas.

Após o desenvolvimento do protótipo, conclui-se que se deveria ter escolhido sensores de corrente mais precisos visto que os utilizados possuem uma gama de operação superior ao necessário, logo menor resolução verificando-se maiores erros de medição.

Nos resultados percebeu-se que como as baterias utilizadas foram reaproveitadas de outros projetos, por uma questão de disponibilidade do material, não possuíam as mesmas capacidades de armazenamento de energia e, além disso os problemas relacionadas com a má fiabilidade da cablagem das baterias, desencadearam dificuldades no decorrer das experiências realizadas.

A realização desta dissertação permitiu ainda alargar conhecimentos e adquirir competências em diferentes áreas, tais como, eletrónica, sistemas digitais, instrumentação, informática e elétrica, tornando-a bastante proveitosa em termos educacionais, visto que neste mestrado não são temas muito aprofundados.

Além disso, para levar o projeto avante recorreu-se à internet, recurso essencial, para a procura de informação e materiais necessários ao correto desenvolvimento e implementação do sistema proposto.

4.2 Trabalho Futuro

O sistema de transporte e armazenamento de energia elétrica encontra-se funcional e está de acordo com os objetivos propostos.

No entanto e com base nas conclusões obtidas, expostas ao longo da dissertação, o autor sugere melhorias e futuras implementações:

- Desenvolver e construir placas de circuito impresso direcionadas a cada função do sistema proposto;
- Aumentar o número de "módulos de bateria" utilizados para obter vários conjuntos de baterias;
- Adaptar e construir o sistema à escala real;
- Utilizar modem ou rede móvel para enviar dados para uma base de dados central;
- Adicionar GPS (*Global Positioning System*) para saber a localização do camião;
- Criação de uma página *Web* para visualização da localização do camião e dados relativos ao cliente.

Bibliografia

[1] MOBI.E - **Definição e Pontos de Carregamento** [Em linha]. [Consult. 19 Mar. 2016]. Disponível em WWW:<URL: https://www.mobie.pt/a-rede-mobi.e>.

[2] JORNAL DE NEGÓCIOS - **Carro elétrico quer postos e impostos estáveis** [Em linha]. [Consult. 19 Mar. 2016]. Disponível em WWW:<URL: https://www.eem2016.com/cpes/noticias-eventos/nos-na-imprensa/carro-eletrico-quer-postos-e-impostos-estaveis-jornal-de-negocios>.

[3] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - **International Energy Outlook 2013** [Em linha]. Washington: U.S. Department of Energy, 2013. [Consult. 2 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf>. ISBN 0160920663

[4] UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SOCIAL AFFAIRS POPULATION DIVISION - **World Population Prospects: the 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables** [Em linha]. Nova Iorque: United Nations, 2015. [Consult. 2 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf>.

[5] PORDATA - **Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia** [Em linha]. [Consult. 5 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+primária+total+e+por+tipo+de+fonte+de+energia-1130>.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - **Consumo de energia primária por tipo de fonte de energia e tipo de consumo** [Em linha]. [Consult. 1 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0002103&contexto=bd&selTab=tab2>.

[7] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - **Quota do consumo final de energia por setor de actividade económica** [Em linha]. [Consult. 1 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0002108&contexto=bd&selTab=tab2>.

[8] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - Estatísticas dos Transportes e Comunicações 2013. **Estatísticas dos transportes** [Em linha]. (2014), p. 38-45. [Consult. 2 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=

ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=210766934&PUBLICACOEStema=55488&PUBLICACOESmodo=2>. ISSN 0377-2292.

[9] PORDATA - **População residente, estimativas a 31 de Dezembro: total e por grupo etário - Portugal** [Em linha]. [Consult. 4 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente++estimativas+a+31+de+Dezembro+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio-7>.

[10] UMIC - **Mobilidade Eléctrica** [Em linha]. [Consult. 24 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.umic.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=3522&Itemid>.

[11] INTELI - **MOBI.E** [Em linha]. [Consult. 24 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL:http://www.inteli.pt/pt/go/mobie>.

[12] GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA - **Cimeira de Paris sobre alterações climáticas marca «o início do fim da utilização dos combustíveis fósseis como fonte de energia»** [Em linha]. [Consult. 25 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.portugal.gov.pt/pt/ministerios/mamb/noticias/20151218-mamb-ar-cop21.aspx>.

[13] GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA - **Governo conclui rede para a mobilidade elétrica** [Em linha]. [Consult. 26 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.portugal.gov.pt/pt/ministerios/mamb/noticias/20160225-mamb-mobilidade-eletrica.aspx>.

[14] GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA - **Incentivos vão fazer crescer a adesão dos cidadãos e empresas à mobilidade elétrica** [Em linha]. [Consult. 26 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.portugal.gov.pt/pt/ministerios/mamb/noticias/20160226-seaamb-mobilidade-eletrica.aspx>.

[15] LARMINIE, James; LOWRY, John - **Electric Vehicle Technology Explained.** 1ªed. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2003. ISBN 0-470-85163-5

[16] PORTAL ENERGIA - **Vantagens e desvantagens do Carro Eléctrico VS Gasolina** [Em linha]. [Consult. 6 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina>.

[17] CHAN, C. C. - **The state of the art of electric and hybrid vehicles.** Proceedings of the IEEE, 2002. ISBN 0018-9219. Vol.90, p.247?275.

[18] EMADI, Ali - **Handbook of automotive power electronics and motor drives.** CRC Press, 2005. ISBN 9780824723613. Vol. 125, p.64.

[19] SILVA, Pedro - **Baterias para Veículos Elétricos - Mais soluções do que problemas** [Em linha]. [Consult. 5 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Documents/Semin%C3%A1rio%2008%20Mar%C3%A7o%202010%20-%20PDFs/Pedro_Sena_Silva.pdf>.

[20] VEÍCULOS ELÉCTRICOS PT - **Baterias de lítio, fonte de esperança** [Em linha]. [Consult. 12 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.veiculoselectricospt.com/baterias-de-litio-fonte-de-esperanca>.

[21] SMART-LIC - **Smart and Compact Battery Management System Module for Integration into Lithium-Ion Cell for Fully Electric Vehicles** [Em linha]. [Consult. 15 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.transport-research.info/project/smart-and-compact-battery-management-system-module-integration-lithium-ion-cell-fully>.

[22] CHAFKIN, Max - **A Broken Place: The Spectacular Failure Of The Startup That Was Going To Change The World** [Em linha]. [Consult. 13 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.fastcompany.com/3028159/a-broken-place-better-place>.

[23] NISSAN MOTOR CORPORATION - **Wireless Charging System** [Em linha]. [Consult. 13 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/wcs.html>.

[24] BERGVELD, Hendrik Johannes - **Battery Management Systems.** 1ª ed. Enschede: Royal Philips Electronics, 2001. ISBN 90-74445-51-9

[25] LAWSON, Barrie - **Battery Management and Monitoring Systems (BMS)** [Em linha]. [Consult. 15 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.mpoweruk.com/bms.htm>.

[26] NARI - **EV Battery Management System** [Em linha]. [Consult. 15 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.narigroup.com/solution/evbattery-management-system.html>.

[27] LEM - **LEM** [Em linha]. [Consult. 16 Out. 2015]. Disponível em WWW:< URL:http://www.lem.com/hq/en>.

[28] EWERT ENERGY SYSTEMS - **Ewert Energy Systems** [Em linha]. [Consult. 17 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.ewertenergy.com>.

[29] BLUETOOTH SIG - **Our History** [Em linha]. [Consult. 19 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: https://www.bluetooth.com/media/our-history>.

[30] ALECRIM, Emerson - **Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?** [Em linha]. [Consult. 19 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.infowester.com/bluetooth.php>.

[31] ZIGBEE ALLIANCE - **The ZigBee Alliance** [Em linha]. [Consult. 19 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.zigbee.org/zigbeealliance>.

[32] MESSIAS, António - **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee** [Em linha]. [Consult. 19 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>.

[33] NORDIC SEMICONDUCTOR - **nRF24L01** [Em linha]. [Consult. 19 Out. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>.

[34] BUCHMANN, Isidor - **Li-polymer Battery: Substance or Hype?** [Em linha]. [Consult. 11 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype>.

[35] MICROCHIP TECHNOLOGY - **MCP73831** [Em linha]. [Consult. 8 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en024903>.

[36] MICROCHIP TECHNOLOGY - **PIC18F2520 - 8-bit PIC Microcontrollers** [Em linha]. [Consult. 8 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC18F2520>.

[37] MICROCHIP TECHNOLOGY - **PIC18F2520** [Em linha]. [Consult. 8 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.microchipdirect.com/ProductDetails.aspx?Category=PIC18F2520&&keywords=PIC18F2520-I/SP>.

[38] MACKAY, Steve; WRIGHT, Edwin; REYNDERS, Deon; PARK, John - **Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting.** 1ªed. Austrália: IDC Technologies, 2004. ISBN 9780750658072. p. 32-51.

[39] FINDER BRASIL - **O que você precisa saber sobre relés?** [Em linha]. [Consult. 20 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.findernet.com/en/node/47658>.

[40] HUIKE - **Relay HK19F** [Em linha]. [Consult. 1 Jan. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.ledsee.com/datasheet_ledsee/HK19F-DCrelay.pdf>.

[41] ALLEGRO MICROSYSTEMS - **0 to 50 A Integrated Current Sensor ICs** [Em linha]. [Consult. 4 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs.aspx>.

[42] LAIKALABS - **5A Range Current Sensor Module ACS712** [Em linha]. [Consult. 4 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.ebay.in/itm/5A-range-Current-Sensor-Module-ACS712-/182172016081?hash=item2a6a4c5dd1:g:IbQAAOSwQItT5kxe>.

[43] ALLEGRO MICROSYSTEMS - **ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor** [Em linha]. [Consult. 4 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>.

[44] VISHAY - **Linear Optocoupler, High Gain Stability, Wide Bandwidth** [Em linha]. [Consult. 5 Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.vishay.com/docs/83622/il300.pdf>.

[45] MICROCHIP TECHNOLOGY - **Low-Power Linear Active Thermistor ICs** [Em linha]. [Consult. 17 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf>.

[46] MORNSUN - **B0505YS-1W** [Em linha]. [Consult. 15 Fev. 2016]. Disponível em WWW:<URL: http://www.mornsun-power.com/uploads/pdf/B0505YS-1W.pdf>.

Anexos

Anexo A

Bateria

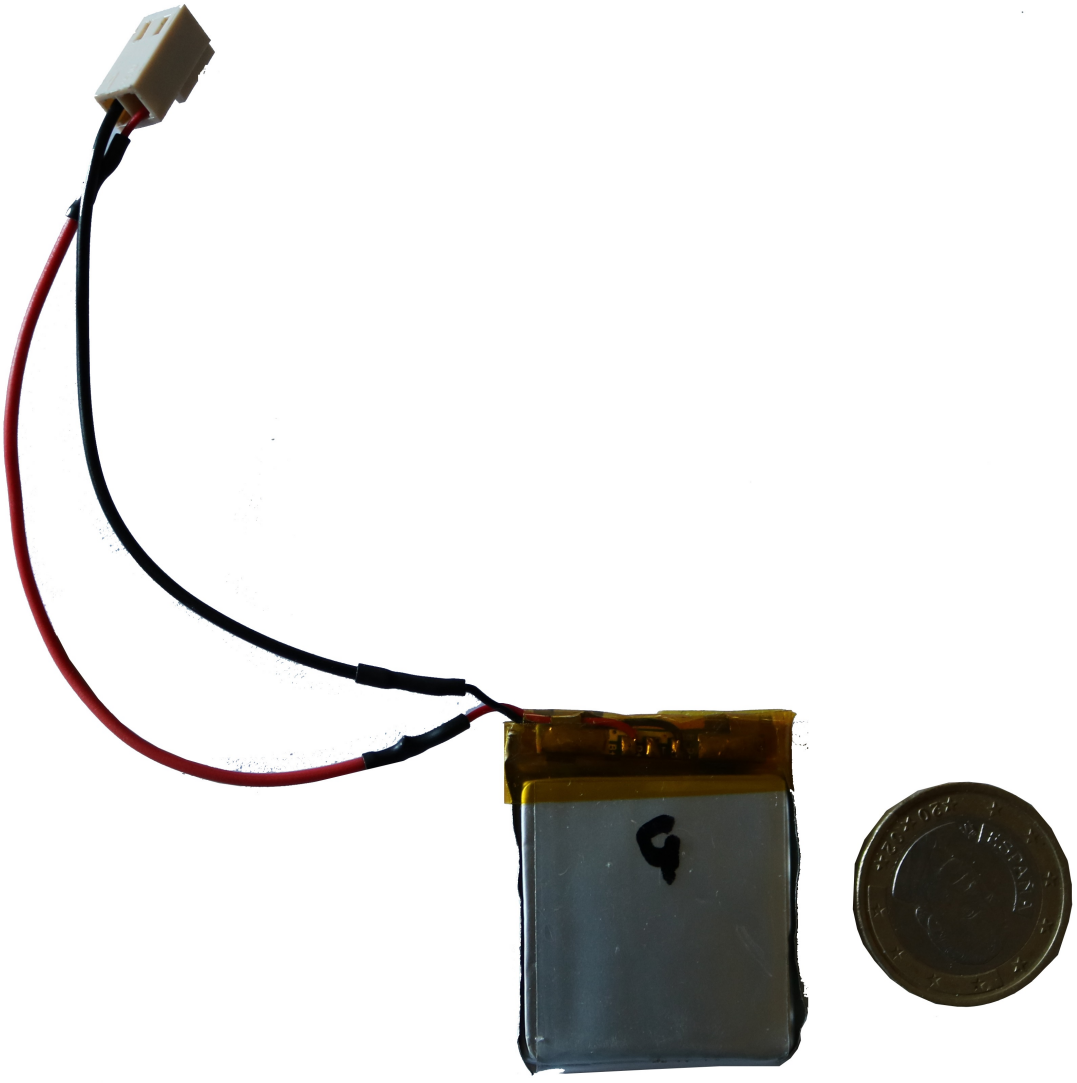


Figura A.1: Bateria

Anexo B

Comunicação módulo nRF24L01+

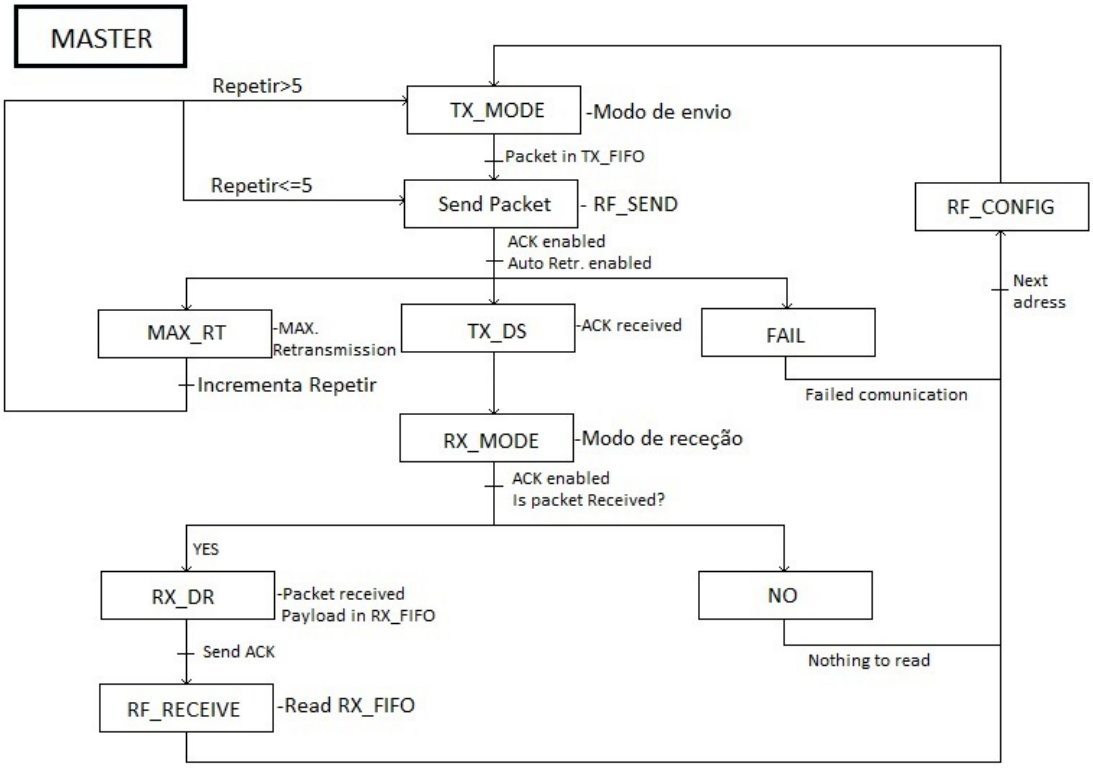


Figura B.1: Processo de comunicação através do módulo nRF24L01+ num *Master*

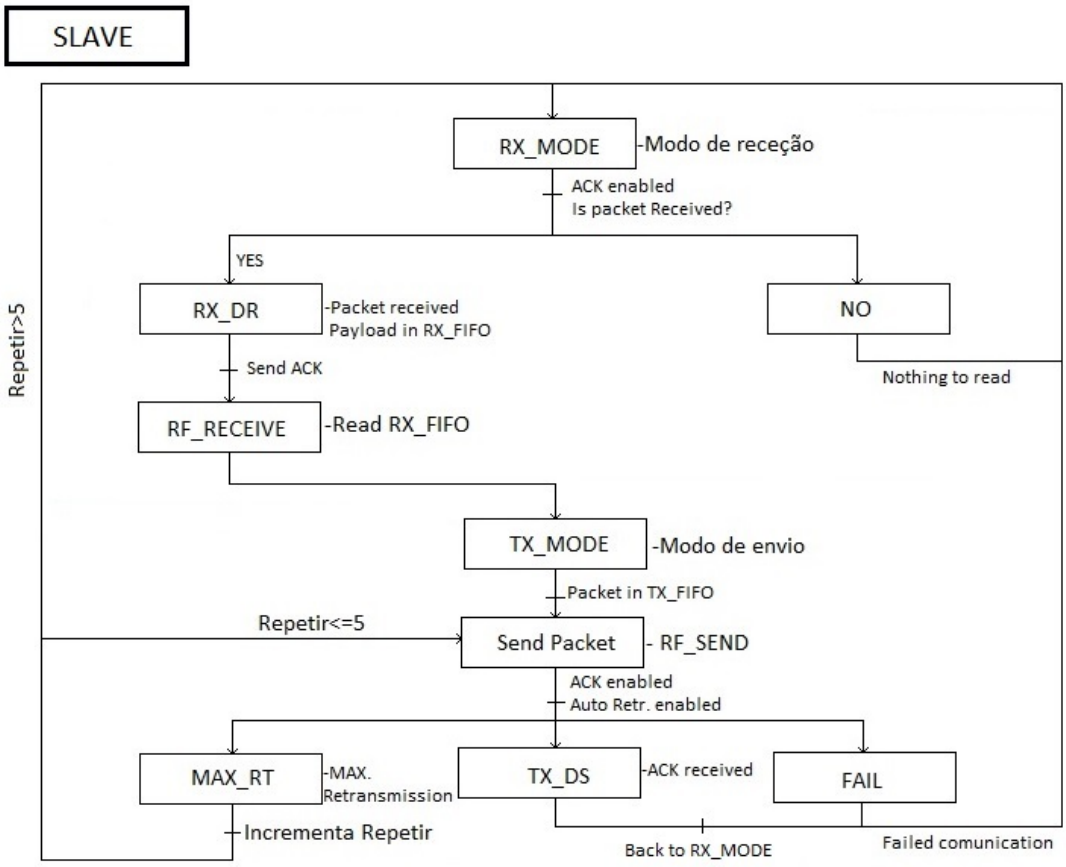
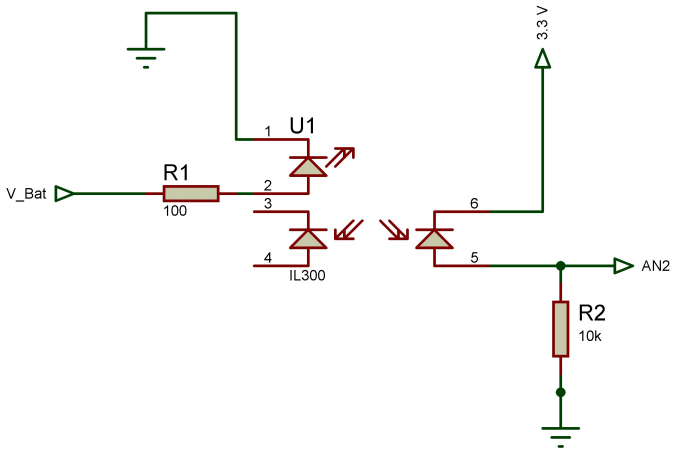


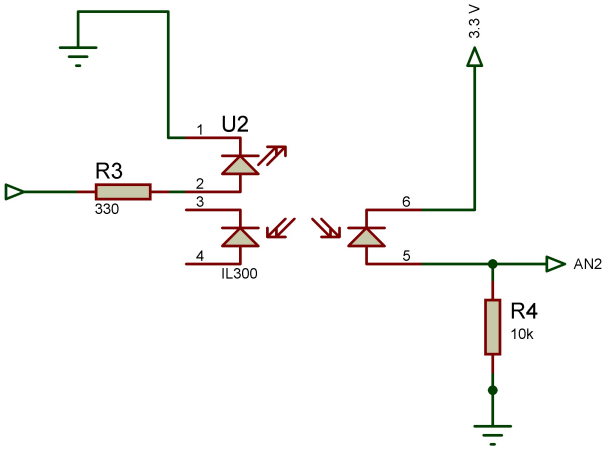
Figura B.2: Processo de comunicação através do módulo nRF24L01+ num *Slave*

Anexo C

Sensor de tensão



(a) Sensor de tensão dos "módulos bateria"



(b) Sensor de tensão dos "módulos carga e descarga"

Figura C.1: Esquema do circuito dos sensores IL300