

MONITORIZAÇÃO DE SISTEMA DE BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Nuno Filipe Rocha Carvalho



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2012

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Nuno Filipe Rocha Carvalho, Nº 1060853, 1060853@isep.ipp.pt

Orientação científica: João Vieira dos Santos, jvs@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

9 de Novembro de 2012

Agradecimentos

São muitas as pessoas a quem tenho o dever de agradecer pela conclusão desta importante etapa da minha vida.

Em relação às instituições, gostaria de agradecer à empresa onde neste momento trabalho, a *Valinstal*, nomeadamente ao Sr. Álvaro Santos e colegas de trabalho pela paciência e disponibilidade que me ofereceram tanto em ideias para este trabalho como em tempo, muito precioso para a conclusão do mesmo. Agradecer também ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, nas pessoas do Eng.º. Mário Felgueiras, Eng.º. Vieira dos Santos e Professor Doutor Carlos Felgueiras.

Nos agradecimentos pessoais, a todos os colegas e amigos me acompanharam ao longo do curso e partilharam este caminho da execução da Tese, caminho difícil mas em que a recompensa é grande. São eles o Diogo Ribeiro, Pedro Leite e André Oliveira. Agradecer também à minha amiga Paula Cristina pela sua determinação fundamental em me incentivar para concluir este trabalho. Agradecer também à Ana Filipa Iglésias pelo apoio demonstrado e carinho demonstrado. Por último, agradecer à Raquel Araújo que infelizmente não me acompanhou até ao final, tendo dado no entanto o seu contributo no início.

Por último, agradeço à minha família, pelos sacrifícios que fizeram para me oferecer melhores condições nos aspetos importantes da minha vida.

Resumo

Uma das maiores preocupações do mundo neste momento prende-se com o facto da grande dependência do petróleo e seus aglomerados. Esta dependência causa dois problemas: novos estudos fomentam o começo da escassez deste produto, atirando para cima o preço deste material precioso, e a poluição que este causa. Um dos sectores mais dependentes e que mais polui, é o dos transportes. Nos últimos anos, o mundo teve finalmente noção deste problema e uma das apostas neste sector é o desenvolvimento da célula de combustível, uma tecnologia que utiliza água como combustível, podendo ser reutilizada. É uma tecnologia ainda em fase de introdução pelo que, para já, a médio prazo não será solução.

Uma solução intermédia é a utilização de energia elétrica como “combustível”. Apesar de grande parte da produção de energia elétrica ser a partir da queima de derivados de petróleo, os motores elétricos são por si só muito mais eficientes comparando com os motores de combustão. Não se vai aqui debater se são uma solução com viabilidade devido à questão da transferência da dependência do petróleo do sector dos transportes para o sector da produção de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho será desenvolver um sistema de gestão do “combustível” dos veículos elétricos, ou seja, baterias. Essa gestão tem como objetivo aumentar a autonomia do veículo e prolongar o tempo de vida das baterias. Na primeira fase, uma introdução à atualidade dos veículos elétricos, fazendo uma análise às diferentes soluções. Serão referidas os diferentes tipos de baterias e suas características, passando depois para exemplos de sistemas de gestão de baterias. A explicação da ideia para este sistema vem com o capítulo projeto, ficando a implementação para o capítulo seguinte.

Palavras-Chave

Veículo elétrico, baterias, energia elétrica, bateria de chumbo ácido, controlador, carregador, monitorização, motor elétrico, motor de combustão.

Abstract

A major concern of the today's world relates to the heavy dependence on oil and its clusters. This dependency causes two problems: new studies promote the early shortage of this product, shooting up the price of this precious material, and pollution that this causes. One of the sectors most dependent and that pollutes more, is transport. In recent years, the world has finally concept of this problem and one of the stakes in this sector is the development of fuel cell technology that uses water as fuel, may be reused. This technology is still in the introduction that, for now, in the medium term will not be the solution.

An intermediate solution is to use electrical energy as "fuel". While much of the production of electricity is from burning of petroleum products, electric motors alone are much more efficient compared to combustion engines. Do not go here if you are discussing a solution with viability due to the issue of the transfer of oil dependence in the transport sector for the production of electricity.

This study will develop a system manages the "fuel" for electric vehicles, or batteries. This management aims to increase the autonomy of the vehicle and prolong battery life. In the first phase, will present an introduction of electric vehicles by making an analysis of the different solutions. Will be referred to the different battery types and their characteristics, then moving to examples of battery management systems. The explanation of the idea for this system comes with chapter project, leaving the implementation to the next chapter.

Keywords

Veículo elétrico, baterias, energia elétrica, bateria de chumbo ácido, controlador, carregador, monitorização, motor elétrico, motor de combustão.

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. REQUISITOS	3
1.4. CALENDARIZAÇÃO	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. VEICULOS ELETRICOS	6
2.1.1. <i>Tecnologias veículos elétricos</i>	7
2.2. BATERIAS	27
2.2.1. <i>Chumbo - ácido</i>	27
2.2.2. <i>Ni-MH</i>	31
2.2.3. <i>Iões de lítio</i>	34
2.2.4. <i>Comparação geral entre baterias</i>	39
2.3. CARREGAMENTO DE BATERIAS	42
2.3.1. <i>C rate</i>	42
2.3.2. <i>Métodos de carregamento</i>	43
2.4. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM	45
2.4.1. <i>Clayton Power</i>	48
3. PROJETO.....	51
3.1. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA.....	52
3.2. IDEIA DO SISTEMA.....	53
3.3. DIAGRAMA DE BLOCOS	54
3.4. BLOCOS OPERACIONAIS	56
3.4.1. <i>Sistema de Carregamento</i>	56
3.4.2. <i>Monitorização</i>	61
3.4.3. <i>Placa processamento</i>	73
3.4.4. <i>Placa de ligações</i>	73
3.4.5. <i>Algoritmo</i>	74

4.	IMPLEMENTAÇÃO.....	75
4.1.	VISÃO GERAL DO SISTEMA	76
4.1.1.	<i>Fase de carregamento</i>	76
4.1.2.	<i>Fase de tração</i>	77
4.1.3.	<i>Comunicação / Controlo</i>	78
4.2.	BLOCO CARREGAMENTO	79
4.2.1.	<i>Esquema elétrico</i>	79
4.2.2.	<i>Dimensionamento</i>	82
4.2.3.	<i>Layout em PCB</i>	83
4.3.	PLACA DE MONITORIZAÇÃO.....	85
4.3.1.	<i>Esquema elétrico</i>	85
4.3.2.	<i>Layout em PCB</i>	86
4.4.	PLACA DE PROCESSAMENTO	88
4.4.1.	<i>Características</i>	88
4.4.2.	<i>Layout em PCB</i>	89
4.5.	PLACA DE LIGAÇÕES	90
4.6.	CABOS DE LIGAÇÃO	92
4.7.	ORÇAMENTO	94
4.7.1.	<i>Placa de Carregamento</i>	94
4.7.2.	<i>Placa de Processamento</i>	95
4.7.3.	<i>Placa de Monitorização</i>	96
4.7.4.	<i>Placa de Ligações</i>	96
4.7.5.	<i>Preço custo total BMS</i>	97
5.	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	103
	ANEXO A. TABELA DE PARÂMETROS DO QB78412.....	105
	ANEXO B. ESQUEMA ELÉTRICO PLACA CARREGAMENTO.....	109
	ANEXO C. ESQUEMA ELÉTRICO PLACA DE MONITORIZAÇÃO	111
	ANEXO D. ESQUEMA ELÉTRICO PLACA DE PROCESSAMENTO	113
	ANEXO E. ESQUEMA ELÉTRICO PLACA DE LIGAÇÕES	115
	ANEXO F. VISTA GERAL BMS.....	117

Índice de Figuras

Figura 1	Esquema inicial deste trabalho	3
Figura 2	Ford Model T - 1908-1927 - 15.007.003 unidades	6
Figura 3	Esquema exemplificativo de um veículo elétrico.....	7
Figura 4	Tesla Roadster.....	8
Figura 5	Tesla Roadster, mostrando a mecânica do automóvel.....	9
Figura 6	Comparação da força entre motor elétrico do Tesla e 2 motores de combustão interna. 10	
Figura 7	À esquerda: A) localização do motor; À direita: B) motor elétrico do Roadster	11
Figura 8	À esquerda: A) localização das baterias; À direita: B) banco de baterias do Roadster	12
Figura 9	À esquerda: A) localização do módulo de potência; À direita: B) IGBT.....	13
Figura 10	Subsistemas com que o <i>Vehicle Management System</i> lida.....	14
Figura 11	Nissan Leaf.....	15
Figura 12	Esquema exemplificativo de um veículo elétrico.....	16
Figura 13	Toyota Prius 3ª geração.....	17
Figura 14	Esquema de funcionamento do sistema Hybrid Synergy Drive da Toyota.	17
Figura 15	À esquerda: A) Banco de baterias; À direita: B) esquema do motor elétrico	18
Figura 16	À esquerda: A) motor de combustão; À direita: B) Power split device	19
Figura 17	Funcionamento do sistema a baixa velocidade.	19
Figura 18	Funcionamento do sistema em andamento normal.	20
Figura 19	Funcionamento do sistema aquando uma desaceleração.....	20
Figura 20	ECVT usado no Toyota Prius.....	21
Figura 21	Peugeot 3008 Hybrid4.....	22
Figura 22	Esquema exemplificativo de um veículo elétrico.....	23
Figura 23	Opel Ampera	24
Figura 24	Componentes principais do Voltec powertrain da GM	25
Figura 25	Elementos de uma bateria de chumbo - ácida.	28
Figura 26	Interior de uma bateria de chumbo mostrando a disposição das células.	28
Figura 27	Esquema explicativo das reações aquando do descarregamento da bateria de chumbo. 29	
Figura 28	Esquema explicativo das reações aquando do carregamento da bateria de chumbo. ...	29
Figura 29	Forma de carregamento da bateria de chumbo.....	31
Figura 30	Esquema de uma bateria Ni-MH para os processos de carga e descarga.	33
Figura 31	Gráfico com C rate comparativo	34
Figura 32	Equipamento a ser destruído pela explosão da sua bateria defeituosa	35

Figura 33	Constituição de uma célula Li-ION.....	38
Figura 34	Esquema com as reações químicas que ocorrem aquando do carregamento e em carga. 39	
Figura 35	Tabela com comparação da capacidade e custo entre as principais baterias [8].	41
Figura 36	Numero de ciclos Vs C Rate [8].....	43
Figura 37	Esquema ilustrativo da carga em pulsos [8].	44
Figura 38	Intervalo ideal da capacidade da bateria para funcionamento num veículo elétrico	47
Figura 39	Battery Management System da Clayton Power	48
Figura 40	Diagrama de blocos do sistema	55
Figura 41	UC3909 A) Designação dos pinos B) pormenor do integrado	56
Figura 42	Tensão e corrente nos 4 estágios mostrados num ciclo de carregamento.....	57
Figura 43	Icc vs temperatura	60
Figura 44	À esquerda, esquema dos pinos de ligação do integrado. À direita, o encapsulamento, HTSSOP-44.....	61
Figura 45	Codificação UART	66
Figura 46	Operação <i>Multi-Drop</i>	67
Figura 47	Formato do comando enviado para o bq78412	67
Figura 48	Contadores de abuso.....	71
Figura 49	Algoritmo a implementar na Placa de Processamento	74
Figura 50	Esquema quando o sistema se encontra a carregar as baterias	76
Figura 51	Esquema quando o sistema está pronto para tração	77
Figura 52	Esquema de comunicações do sistema	78
Figura 53	Esquema Elétrico Sistema de Carregamento.....	79
Figura 54	Circuito do driver	80
Figura 55	Buck Converter b) Forma de onda resultante pela passagem e bloqueamento do Mosfet 81	
Figura 56	Esquema para indicação do estado do carregamento	81
Figura 57	Alterações no circuito do Driver em relação à Figura 54.....	83
Figura 58	Layout em PCB da Placa de Carregamento.....	84
Figura 59	Pormenor do esquema elétrico ao redor do bq78412	85
Figura 60	Esquema para implementação do gráfico de barras com 10 LED's.....	86
Figura 61	Layout em PCB da Placa de Monitorização	87
Figura 62	Resistência de 0.5mΩ de 8W.	87
Figura 63	Arduino desenvolvido no âmbito da cadeira LABSIS	88
Figura 64	Layout em PCB da Placa de Processamento	89
Figura 65	Determinação da largura das pistas por parte do software Saturn PCB Design.	90
Figura 66	Layout em PCB da Placa de Ligações.....	91
Figura 67	Rele de alta corrente	92
Figura 68	Modulo IGBT para altas correntes	93

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização	4
Tabela 2	Vantagens e desvantagens das baterias Ni-MH sobre as Ni-CD.....	32
Tabela 3	Os diferentes tipos de baterias de Iões de Lítio. (1) Material Cátodo (2) Material Ânodo [8].	37
Tabela 4	Características das baterias tipicamente mais utilizadas [8].....	40
Tabela 5	Tabela com diferentes C Rates [8].	43
Tabela 6	Modelos do Battery Management System da Clayton	49
Tabela 7	Imposto Único de Circulação para Veículos elétricos anteriores a 2007.	52
Tabela 8	Tabela com indicação dos estados de carregamento através dos pinos STAT0 e STAT1 60	
Tabela 9	Configuração do parâmetro DsplyConf.	64
Tabela 10	Exemplo de operação do gráfico de barras de 5 LED's durante a carga.....	64
Tabela 11	LED's de indicação e quando são ativados.	65
Tabela 12	Tabela com os estados que podem ser transmitidos em BroadCast.	68
Tabela 13	Possíveis estados do parâmetro BatteryStatusWord.....	69
Tabela 14	Registos dos estados da bateria	69
Tabela 15	Tabela com os registos associados à análise de garantia.....	70
Tabela 16	Tabela custo Placa de Carregamento.....	94
Tabela 17	Tabela de custo da Placa de Processamento.....	95
Tabela 18	Tabela de custo da Placa de Monitorização	96
Tabela 19	Tabela de custo da Placa de Ligações	96
Tabela 20	Tabela de custo do Battery Management System.....	97

Acrónimos

- BMS – Battery Management System
- Ni-MH – Bateria de Níquel Hidretos Metálicos
- LiON – Bateria de *Iões de Lítio*
- Ni-CD – Bateria de Níquel Cadmio
- SOC – State of Charge
- SOH – State of Health
- DOD – Deep of Discharge
- uC – MicroControlador

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se intensificado o apelo pela procura de alternativas aos combustíveis fósseis principalmente por duas razões: as previsões das reservas de petróleo diminuirão de ano para ano, havendo já possíveis datas para o esgotamento deste combustível, o que eleva e muito os preços; apesar do esforço das diferentes indústrias utilizadoras deste combustível, as quantidades de dióxido de carbono que liberta são enormes, existindo cada vez mais pressão para a substituição deste combustível por alternativas menos poluentes.

Sem entrar na questão de como se produz a maior parte da energia elétrica (grande parte é produzida através da queima de combustíveis fósseis), os veículos elétricos poderão ser uma solução para estes dois problemas, ainda que uma solução transitória até a tecnologia das células de combustível estar completamente desenvolvida. Por enquanto a única alternativa é mesmo a utilização de veículos elétricos, apesar da sua ainda baixa autonomia. Foi a pensar neste ponto que este trabalho surgiu, o criar um sistema que faça a gestão da carga nas baterias de modo a conseguir a maior autonomia possível, ao mesmo tempo que oferece proteção às mesmas de forma ao seu tempo de vida aumentar. Este tipo de sistemas já existe é claro, tendo como nome *Battery Management System*. No entanto, é um conceito novo para a indústria automóvel, sendo que para os fabricantes automóveis, um dos pontos para o sucesso dos seus veículos, daí ser um segredo muito bem guardado. Com este trabalho, vai-se desenvolver um BMS com as mesmas características capaz de ser utilizado por pequenas e médias empresas que tenham como objetivo a conversão de veículos de combustão interna em veículos elétricos.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Battery Management System ou BMS, como o próprio nome indica, é um sistema de gestão de baterias. No entanto, para diferentes áreas, apesar de o nome ser o mesmo, o objetivo do sistema varia substancialmente, mas assentando numa base comum. Essa base refere-se à capacidade do sistema verificar de forma quase constante parâmetros chave durante o carregamento e descarregamento das baterias, parâmetros como temperatura, tensão e corrente, isto na parte de monitorização. Falando da proteção, a base de um BMS deve ser dotado também de entradas e saídas para proteção dos dispositivos e baterias, como por exemplo gerar/comunicar alarmes ou até desligar automaticamente as baterias da carga ou do carregador, caso se verifique que um dos parâmetros saiu dos limites estabelecidos.

Na área das energias, muitas vezes um sistema de reserva de energia a baterias é fundamental em cenários críticos. Neste caso, um BMS terá que ter não só funções de monitorização e proteção mas sim de detetar falhas na rede e entrar em funcionamento de imediato sem que se note a transição para o sistema de reserva. Um sistema inteligente para prolongar a vida útil das baterias também é essencial.

Para um engenheiro do ramo automóvel, um sistema BMS terá de ser dotado de sistemas de comunicação compatível com os usualmente encontrados nos automóveis. Terá que ser capaz de gerir de forma racional a energia que circula pelos diferentes componentes de tração existentes num carro elétrico/híbrido, como baterias, motor elétrico e gerador, prolongando a autonomia ou otimizando a performance, dependendo da preferência do utilizador e ainda ser dotado de um interface para o mesmo. Logo, um BMS para a área automóvel é um sistema muito mais complexo e inteligente e mais exigente em regras de segurança.

Sendo a base do BMS monitorização de parâmetros e proteção de baterias, terá que haver um profundo conhecimento das diferentes químicas existentes no mercado e características/comportamentos de cada uma, de forma a se saber que tipo de proteção precisa cada tipo de química, assim como os diferentes tipos de veículos elétricos e seu funcionamento.

1.2. OBJETIVOS

Podem-se dividir em blocos cada conjunto de funcionalidades base que um BMS incorpora, sendo eles:

- Proteção das baterias para evitar danos nas mesmas;
- Prolongar o tempo de vida das baterias;
- Manter as baterias num estado tal que possam ser utilizadas cumprindo os requisitos para o qual o BMS foi desenhado, ou seja, aumentar a autonomia sem prejudicar a performance do veículo.

1.3. REQUISITOS

Se um BMS for desenhado para um veículo elétrico/híbrido como é o foco deste trabalho, terá que funcionalidades específicas para se adaptar a essa realidade e processar novos equipamentos e informações. Neste ponto, o mais importante é ter um algoritmo que faça a previsão inteligente da autonomia restante das baterias. Outra funcionalidade importante é a implementação de uma interface para o utilizador capaz de mostrar informações importantes como a autonomia, temperatura e estado da bateria. Como funcionalidade avançada, a escolha de modos de funcionamento para o veículo para o utilizador poder optar por uma condução que privilegie a autonomia ou o desempenho, é uma característica bastante útil por dar liberdade de escolha ao utilizador, devido à baixa autonomia dos veículos elétricos.

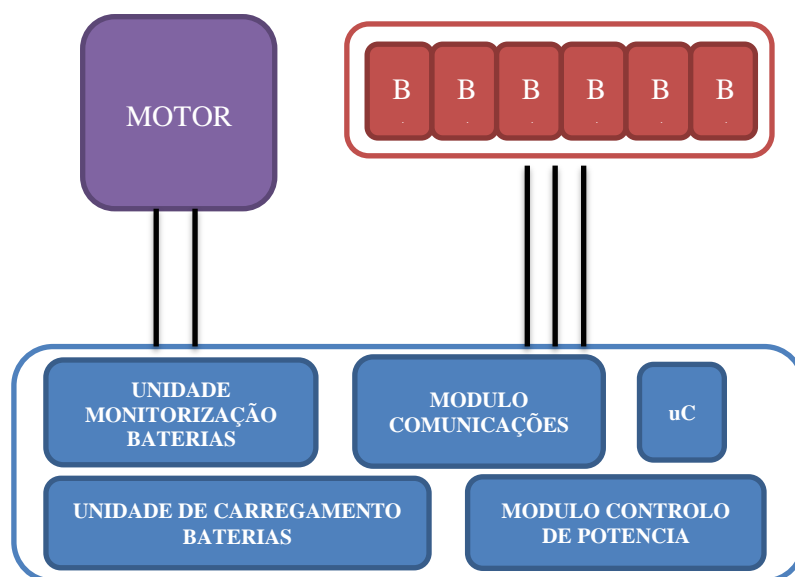


Figura 1 Esquema inicial deste trabalho

1.4. CALENDARIZAÇÃO

Este trabalho teve início no mês de Abril, com pesquisas iniciais sobre os temas abordados neste trabalho, tendo-se prolongado até ao final de Outubro com a implementação e conclusão do trabalho.

	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO							
PESQUISA DADOS INICIAIS	■	■	■	■											
ESTADO DA ARTE			■	■	■	■									
PROJECTO						■	■	■	■	■					
IMPLEMENTAÇÃO										■	■	■	■		
CONCLUSÕES												■	■		

Tabela 1 Calendarização

2. ESTADO DA ARTE

Não sendo este um trabalho sobre veículos elétricos, faremos contudo uma pequena análise sobre a sua história e desenvolvimento até ao momento presente, tendo em mente que o leitor já terá noção sobre este tema. No entanto, sendo este trabalho sobre um sistema que irá ser exclusivamente utilizado neste tipo de veículos, será abordado neste capítulo um breve olhar sobre esse tema, mas focando principalmente sobre as tecnologias existentes, sendo este sim um tema já essencial para um bom desenvolvimento do sistema a conceber.

Tal como nos veículos elétricos, as baterias não são o foco deste trabalho, mas são de certeza um elemento fundamental para a conceção do sistema pretendido. Mais uma vez, não se debruçará exaustivamente sobre a sua história, mas sim sobre as diferentes tecnologias existentes e o seu funcionamento.

Neste capítulo irá ser discutido o estado da arte deste tipo de sistemas, BMS, não falando muito da história já que está associada à história dos veículos elétricos, mas sim as diferentes tecnologias e visões para criar um *Battery System Management*.

2.1. VEICULOS ELETRICOS

Ao longo da história, e em diversas temáticas, surge com certeza uma pergunta perspicaz: por que razão, neste momento, existe “isto” desta forma, e não existe “isto” de outra forma? Ou seja, o que levou a um determinado objeto, veículo, máquina ser assim no tempo presente? Pois bem, tudo isto faz parte da história e, se cada um dos leitores a fosse consultar, a resposta estava dada, mas de forma direta. Procurando uma resposta mais abrangente, a resposta ficasse por uma questão de oportunidade e disponibilidade. Falando no caso dos veículos elétricos, aquando do surgimento dos primeiros automóveis, imagine-se, existiam mais veículos elétricos do que a combustão interna. Nessa altura, motores elétricos já estavam, embora com algumas dificuldades, um pouco desenvolvidos, não existindo ainda motores de combustão interna. No entanto, com o passar dos anos, algumas tecnologias foram evoluindo, através de inventores, como por exemplo a invenção do motor de arranque elétrico, por Charles Kettering, desaparecendo a manivela de arranque. Henry Ford aproveitou estas pequenas invenções para lançar o Ford Modelo T, carro que fez com que a tendência se invertesse.



Figura 2 Ford Model T - 1908-1927 - 15.007.003 unidades

Naquele tempo, a autonomia dos veículos elétricos não conseguiu acompanhar o desenvolvimento das vias de circulação, já que com melhores vias, as pessoas queriam ir ainda mais longe, sendo que a autonomia do veículo elétrico era muito baixa. Os combustíveis fosseis eram baratos em relação às baterias pelo que foi mais um argumento para a escolha de um motor de combustão interna em detrimento de motor elétrico. [1]

Presentemente, os construtores de automóveis viram-se quase obrigados a disponibilizar no seu leque de escolhas um veículo que incorporasse este tipo de tecnologia o que levou à canalização de ainda mais fundos para investigação nesta área, e realce-se ainda mais fundos já que, algumas das marcas, por iniciativa própria, já tinham centros de investigação para o desenvolvimento de veículo elétrico.

2.1.1. TECNOLOGIAS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Diferentes tecnologias surgiram ao longo dos tempos, conceberam-se até alguns modelos no passado, mas não ao ponto de construção para venda maciça à população. No entanto, desde a década de 2000 até à data praticamente todas as marcas já tem a sua própria ideia e/ou protótipo e, em alguns casos, até o seu próprio modelo, encontrando-se para venda ao público.

Existem diferentes conceitos de veículos elétricos, que convém distinguir:

- Veículos puramente elétricos ou veículos elétricos a bateria



Figura 3 Esquema exemplificativo de um veículo elétrico

São veículos que utilizam apenas a energia elétrica como fonte para fornecimento ao/s motores elétricos do veículo, não possuindo assim motor de combustão interna. Essa energia é armazenada em baterias no próprio veículo, sendo que precisam de ser carregadas através da rede elétrica, entre outras formas, numa tomada de casa ou pontos específicos públicos para tal.

Tanto a Nissan como a Tesla foram as pioneiras no que toca a estes veículos, tendo sido as primeiras marcas a disponibilizarem ao público.

Esquema e funcionamento

Para se perceber melhor o funcionamento de um veículo elétrico, o Tesla Roadster vai servir de exemplo, mostrando os seus principais componentes e funcionamento.

A empresa americana Tesla foi criada em 2003 por um grupo de engenheiros para provar que automóveis elétricos podiam ser emocionantes. Em 2008 lançaram o Tesla Roadster, um desportivo de 2 lugares, sendo a Lotus a responsável pela montagem do automóvel, baseado no Lotus Elise. A Tesla apenas fornece a parte da motorização que engloba motor, baterias e todo o sistema de controlo.



Figura 4 **Tesla Roadster**

Foi o primeiro veículo elétrico a usar baterias de íões de lítio, definindo um marco na história dos veículos elétricos, já que com esta tecnologia a autonomia subiu para níveis aceitáveis.

Capaz de alcançar os 200Km/h e acelerar dos 0 aos 100 Km/h em 3,9 segundos, conseguindo autonomia suficiente para percorrer 393Km

Na Europa Continental, o Tesla Roadster custava €84,000.

No entanto, O Tesla Roadster já não se encontra à venda, já que o contrato entre a Tesla e a Lotus era apenas de 2500 veículos, tendo já sido todos vendidos. No entanto, a empresa tem mais dois modelos a serem lançados em breve.

A Figura 5 mostra toda a mecânica do Tesla e servirá de base para uma explicação mais detalhada. Os principais componentes são o grande motor elétrico, módulo de eletrônica de potência, baterias e o sistema de gestão.

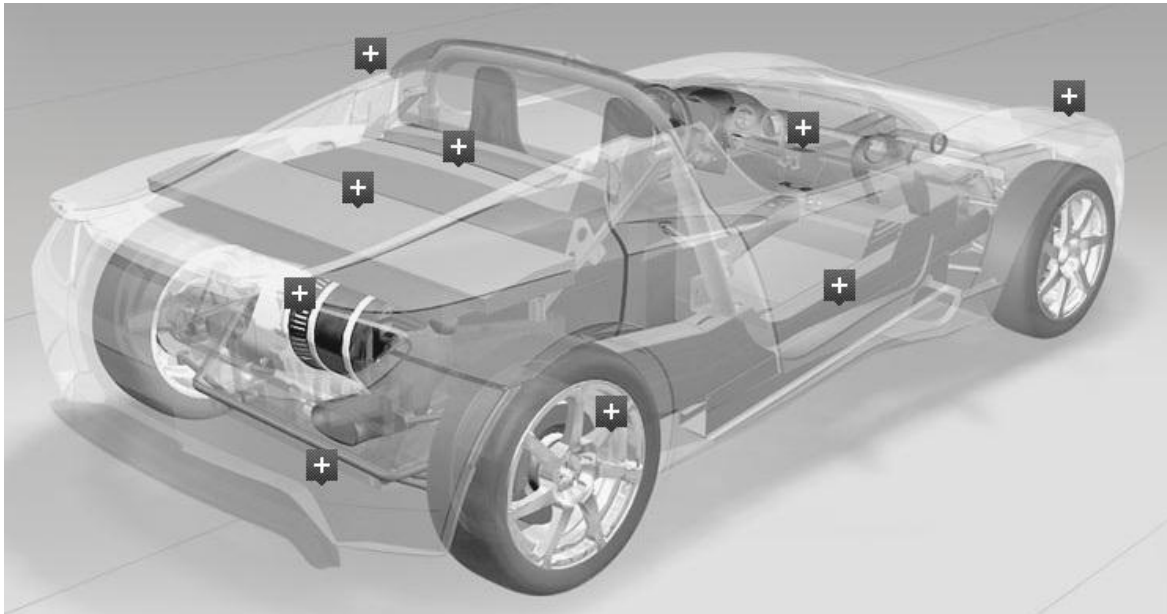


Figura 5 Tesla Roadster, mostrando a mecânica do automóvel.

Um motor de combustão interna é uma máquina com décadas de evolução, tendo sido aprimorado ao longo de todos estes anos de história. É uma máquina incrível oferecendo emoção com a sua potência. No entanto, eficiência não é a sua melhor característica, rondando apenas os 30%, sendo o restante desperdiçado em maioritariamente em calor.

Para um motor trabalhar, este tem de ultrapassar as suas próprias perdas internas e gerar potência suficiente, ou seja, estar a pelo menos 1000RPM, consumindo energia. O seu pico de força surge apenas a vários milhares de rotações, caindo logo de seguida. Para ultrapassar este problema, uma caixa de velocidade é adicionada para manter as rotações do motor dentro da gama de maior força.

O gráfico seguinte faz a comparação da força entre o motor elétrico do Tesla com dois motores de combustão interna, um de alta potência e outro de baixa potência.

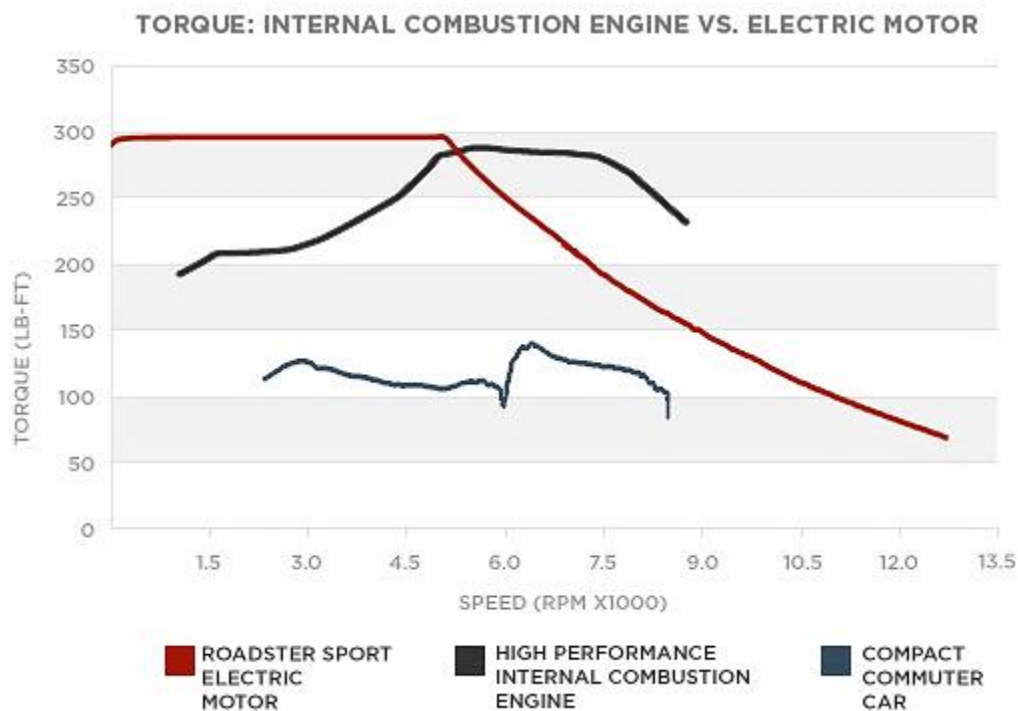


Figura 6 Comparação da força entre motor elétrico do Tesla e 2 motores de combustão interna.

Motores elétricos são bastantes mais simples em comparação com motores de combustão. Basta dizer que tem apenas uma peça que se move – o rotor.

Num motor elétrico, a força está disponível a qualquer instante, seja qual for o número de rotações. No momento em que se carrega no acelerador, sente-se de imediato a força total disponível que o motor debita, uma vez que a força está disponível no máximo e de forma constante até perto das seis mil RPM, descendo aos poucos depois deste valor.

Devido á sua força disponível a baixas RPM, não há necessidade de usar caixa de velocidades, pelo que o Tesla Roadster tem apenas uma velocidade: desde o arranque até a velocidade máxima. Para fazer marcha atrás, apenas se trocam duas das três fases do motor elétrico do Tesla.

Em termos de eficiência, um motor elétrico é cerca de 3 vezes mais eficiente que um motor de combustão interna, 88%.

O Tesla está adaptado para carregar as baterias através de regeneração de energia. Quando o pedal do acelerador é largado, o motor passa a funcionar como gerador, transformando a energia cinética do automóvel em energia elétrica.

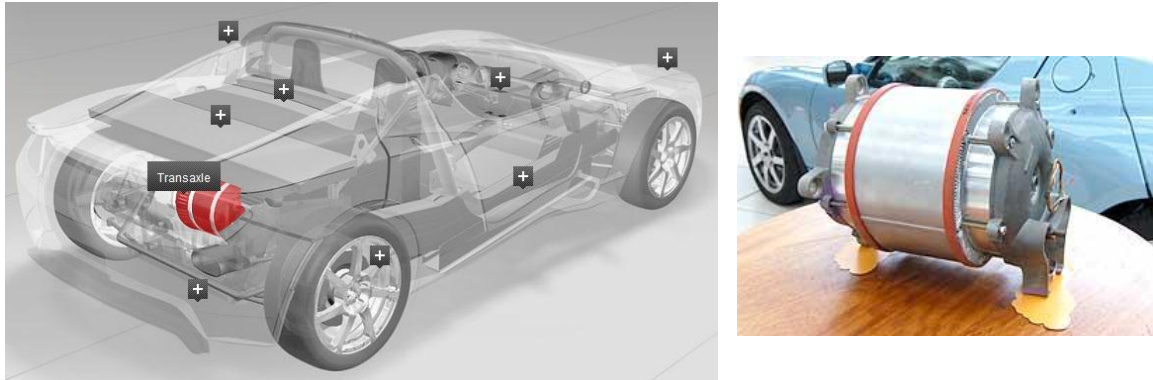


Figura 7 À esquerda: A) localização do motor; À direita: B) motor elétrico do Roadster

O motor do Roadster está apresentado na Figura 7 B). É um motor trifásico síncrono com capacidade de ir até às 14 mil rotações por minuto, debitando 185kWh.

O controlo do motor, ou seja, em que momentos tem que trabalhar como motor ou gerador, assim como a potência que o motor precisa de debitar, depende do driver que o Roadster possui e a sua interação com o pedal do acelerador. Quando o pedal é pressionado, o módulo de eletrónica de potência interpreta como um pedido de energia. Se o pedal é pressionado até ao máximo, o pedido é de fornecer 100% da energia disponível, ou seja, o pedal pode variar de 0 a 100%, consoante a pressão exercida no mesmo, e o sistema pede ao motor que debite a potência consoante esse valor de pressão. Se o pedal não está a ser pressionado, é solicitado que o sistema troque o funcionamento do motor para gerador, ativando a regeneração de energia.

Em relação às baterias do Tesla Roadster, estas são de Li-ion, com 56kWh de capacidade e capaz de debitar 215kW de energia elétrica e pesam cerca de 450Kgs. No total, existem 6,831 células.

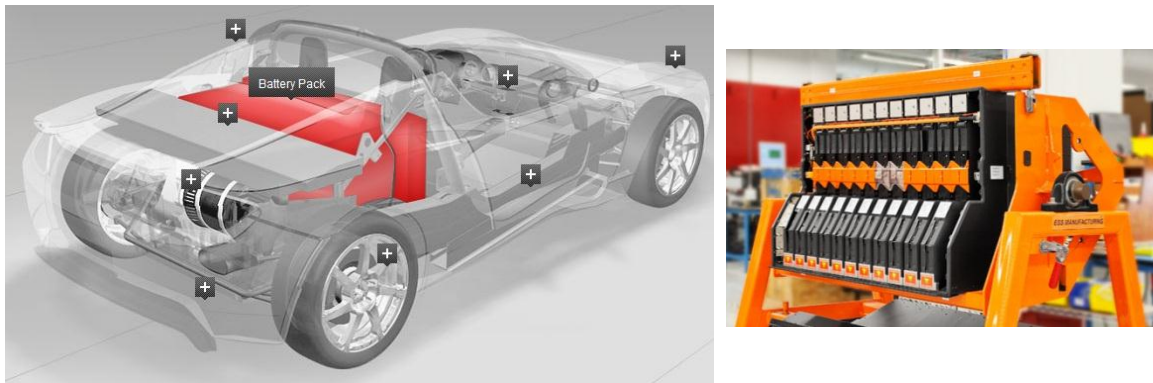


Figura 8 À esquerda: A) localização das baterias; À direita: B) banco de baterias do Roadster

A escolha desta tecnologia em detrimento por exemplo com a de NiMH, uma vez que esta tecnologia é a mais vulgar, para já, nos automóveis elétricos e híbridos, tem a ver com o seu peso.

Para a mesma capacidade, 56kWh, baterias de NiMH pesariam o dobro do que as Li-ion. Desta forma, com um peso inferior, o consumo e energia é menor, melhorando ainda a performance do automóvel.

Outra vantagem da tecnologia Li-ion utilizada no Roadster prende-se com o facto da capacidade armazenamento de energia ser bastante superior em relação às NiMH.

O módulo de eletrónica de potência funciona como uma ponte entre a porta de carregamento, a bateria e o motor. Toda a energia que flui no Roadster passa obrigatoriamente neste módulo.

Como se sabe, a bateria apenas fornece energia em corrente contínua, sendo que o motor é trifásico, logo utiliza corrente alternada. Esta é uma das funções deste módulo, converte DC para AC. IGBT's são usados para converter a corrente DC em AC.

Como o motor nem sempre está a funcionar a 100%, um variador de frequência é usado para aumentar ou diminuir a energia entregue ao motor. A Figura 9 B mostra um IGBT utilizado no Roadster. Outra função deste módulo é fazer a conversão de AC para DC, quando as baterias estão a ser carregadas.

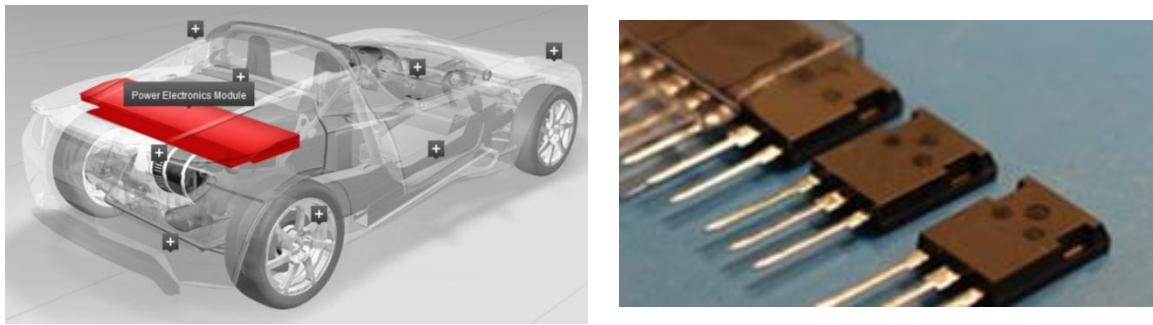


Figura 9 À esquerda: A) localização do módulo de potência; À direita: B) IGBT

No entanto, o que controla todo este “*hardware*”, é o chamado *The Vehicle Management System*.

Este faz interação entre o homem e a máquina. Trata de todos os sistemas sem que o condutor se aperceba nem que tenha que se preocupar. Disto faz parte o sistema de segurança do carro, como a abertura das portas, avisos de segurança como o cinto de segurança.

O *Vehicle Management System* interage com os restantes sistemas interpretando dados recebidos e enviando informação e instruções para outros sistemas, de forma a coordenar as ações necessárias para a condução. A Figura 10 mostra os sistemas periféricos com que o *Vehicle Management System* interage.

Quando a chave é introduzida, o *Vehicle Management System* envia instruções para os sistemas necessários iniciarem as suas funções para a condução. Por exemplo, dá instruções ao módulo de eletrónica de potência para enviar energia para o motor vindo das baterias.

Os 3 modos que o condutor pode seleccionar (performance, normal ou autonomia), são geridos também pelo *Vehicle Management System*, que interage diretamente com as baterias para carregar e descarregar apropriadamente

O algoritmo calcula a autonomia em tempo real que considera a idade da bateria, capacidade, estilo de condução do condutor e o consumo de energia instantâneo.

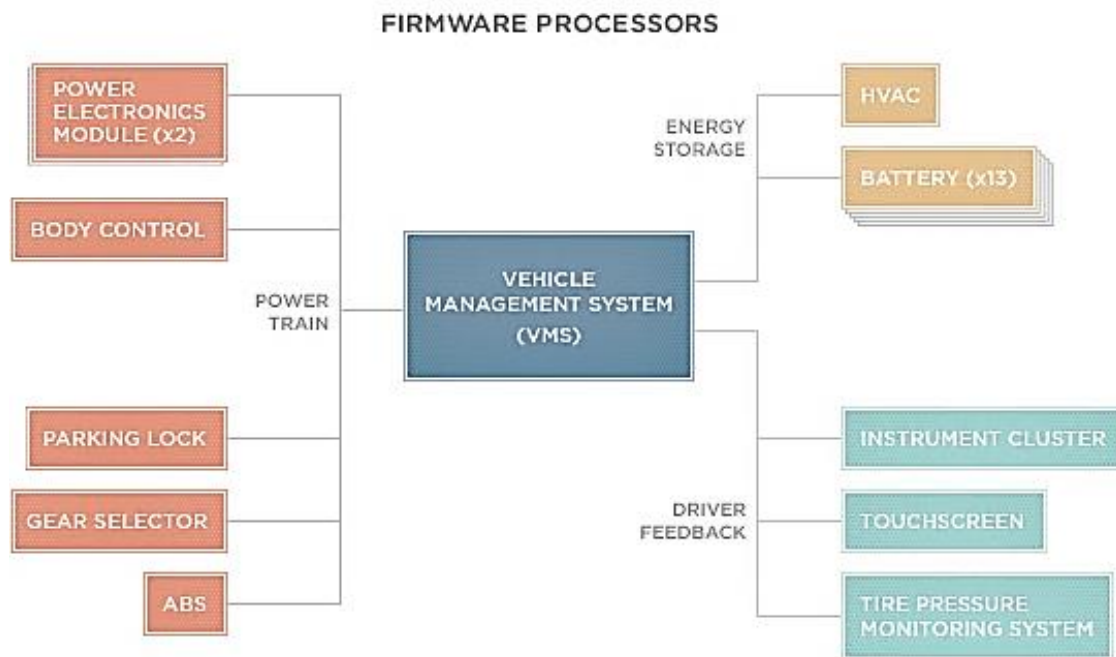


Figura 10 Subsistemas com que o *Vehicle Management System* lida

Nissan Leaf

O Nissan Leaf é um carro familiar de 5 portas, eleito melhor carro do mundo em 2011. Possui um motor elétrico AC síncrono de 80KW, alimentado por um pack de baterias de íons de lítio de 24KWh capaz de debitar 90KW.



Figura 11 Nissan Leaf

O tempo de carregamento das baterias varia com o local de carregamento. Se for efetuado em casa, serão precisas 8h para um carregamento total, assim como na maioria dos postos de abastecimento públicos, já que a corrente máxima é de 16A. No entanto existem alguns postos de carregamento rápido, de corrente contínua e 50KW. Neste caso, serão precisos 30 minutos para 80% da capacidade total.

A autonomia fica-se pelos 175Km e tem como velocidade máxima 145Km/h. A aceleração dos 0 aos 100Km/h não é divulgada pela marca.

Foi o primeiro automóvel elétrico a ser construído em grande escala e a ser vendido na maioria dos países desenvolvidos do mundo. Em Portugal, o Leaf está disponível por €34,955.

- Veículos Híbridos

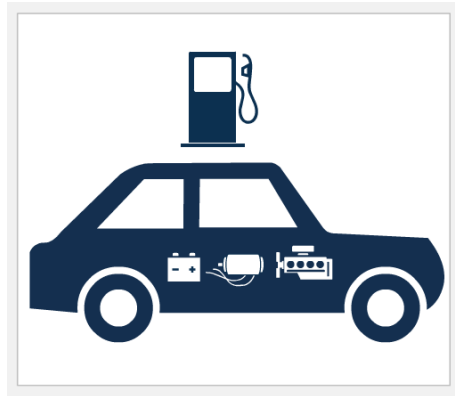


Figura 12 Esquema exemplificativo de um veículo elétrico

São veículos em que a fonte de energia é a combinação da energia elétrica armazenada em baterias, e energia fornecida por motor de combustão interna a gasolina ou gasóleo. Neste tipo de veículos, as baterias são exclusivamente recarregadas internamente, através de regeneração de energia.

Os veículos híbridos podem ser *mild hybrids* ou *full hybrids*. A diferença está na possibilidade de o veículo poder circular apenas com recurso ao motor elétrico, sendo neste caso *full hybrid* ou, quando o motor elétrico apenas é utilizado para auxiliar o motor de combustão interna, trata-se de um *mild hybrid*.

Funcionamento

Para explicar e compreender melhor o funcionamento de um sistema híbrido, de seguida será apresentado um pequeno resumo dos componentes e processo de funcionamento do Toyota Prius. É talvez o híbrido mais conhecido em todo o mundo, apresentado em 1997 como o primeiro da sua espécie. Até fevereiro de 2012 e desde o seu lançamento em 2001, em todo o mundo já se venderam 2,5 milhões de unidades. [2]



Figura 13 Toyota Prius 3ª geração

O Toyota Prius de 2009 usa o *Hybrid Synergy Drive* da Toyota. A Figura 14 mostra a ideia do sistema, com os componentes e posicionamento entre eles, assim como o sentido da energia da componente de motorização elétrica (verde) e da de combustão (vermelho).

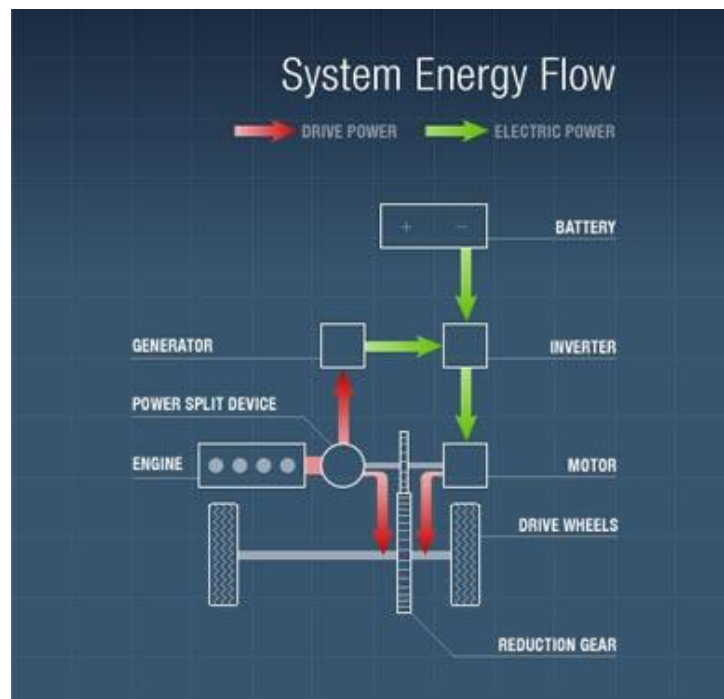


Figura 14 Esquema de funcionamento do sistema Hybrid Synergy Drive da Toyota.

Como se pode ver na Figura 14, como principais componentes do sistema, pode-se falar do motor de combustão e motor elétrico, assim como baterias. Gerador, inversor e o denominado *power split device* também fazem parte do sistema.

A tecnologia de baterias escolhida para este modelo em particular, o Prius, foi a de nickel metal hydride (Ni-MH) de 27KW e consegue debitar 6,5 amperes por hora. Em relação ao motor elétrico, este é um motor síncrono trifásico de 50 kW.

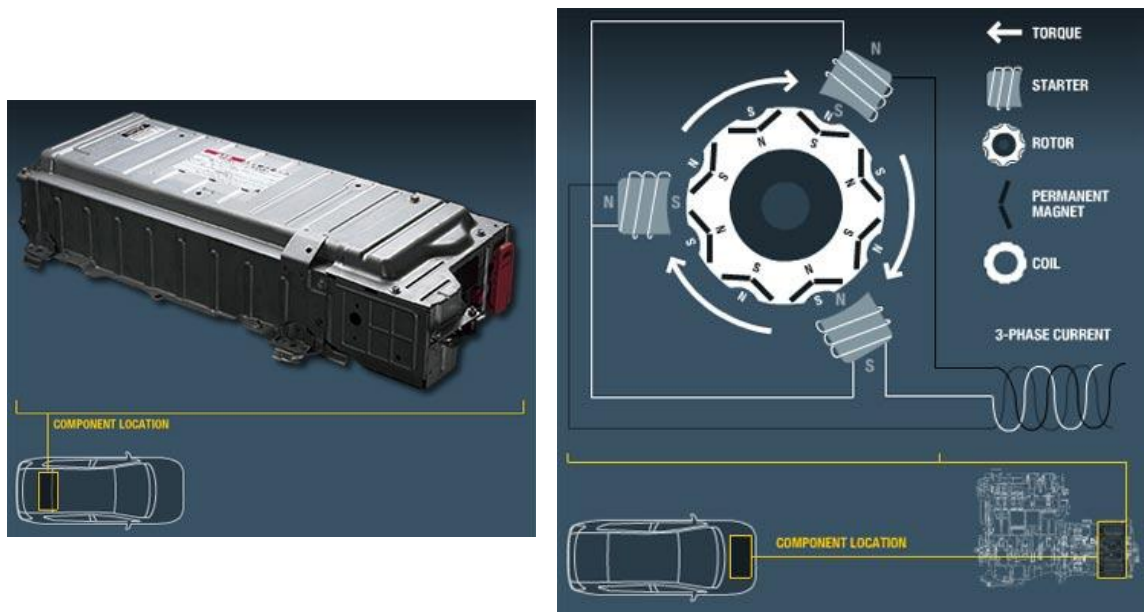


Figura 15 À esquerda: A) Banco de baterias; À direita: B) esquema do motor elétrico

O motor de combustão interna deste Prius é um motor denominado *Atkinson cycle* com 1800cc de cilindrada de 73 kW. Os fabricantes de automóveis estão a usar este tipo de motor em particular em sistemas híbridos devido à sua maior eficiência que os motores normais, porém com menos potência. A razão de um motor tão grande (1800cc) centra-se na disponibilidade de Potência a baixas rotações, reduzindo o consumo de combustível em autoestrada.

O *power split device* é o dispositivo que distribui a potência produzida pelo motor de combustão. Para uma maior eficiência, usa o denominado sistema *planetary gear*, que consiste em várias roldanas ligadas entre si para a transmissão da potência, como se pode ver na Figura 16 B.

O funcionamento é o seguinte:

1. O eixo de rotação *planetary* está diretamente ligado ao motor de combustão e faz rodar o *ring gear* e o *sun gear*;
2. O *ring gear* está diretamente ligado ao motor elétrico, e este transfere a potência diretamente para o eixo dianteiro. A *sun gear* por sua vez está ligado ao gerador que converte a potência produzida pelo motor de combustão em energia elétrica.

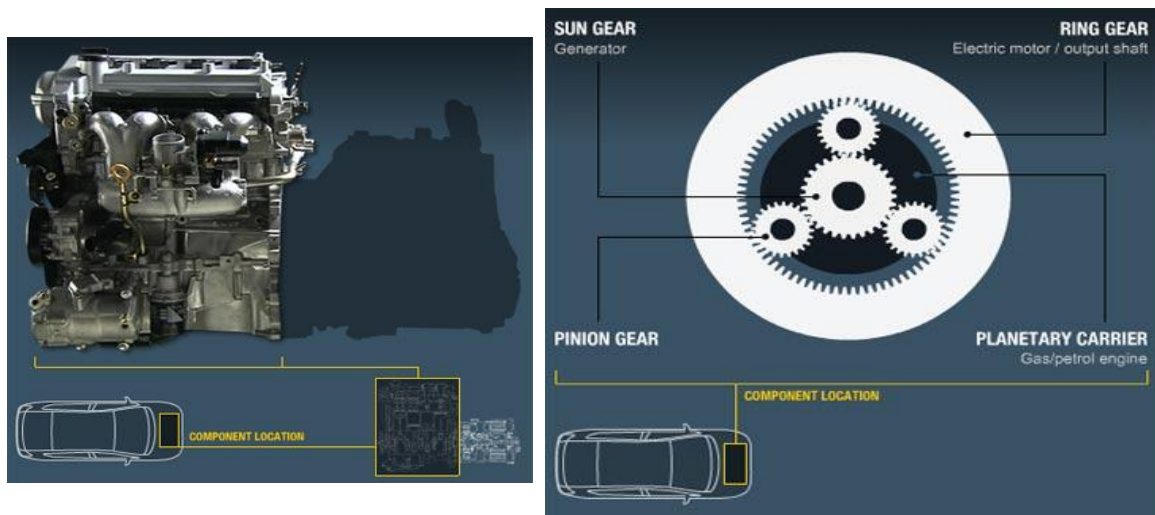


Figura 16 À esquerda: A) motor de combustão; À direita: B) Power split device

No arranque e até mesmo a baixa velocidade, é apenas o motor elétrico a dar propulsão ao carro, como se pode ver nas indicações vermelhas da Figura 17. A energia para o motor vem das baterias (indicações verdes). O motor de combustão encontra-se desligado nesta fase.

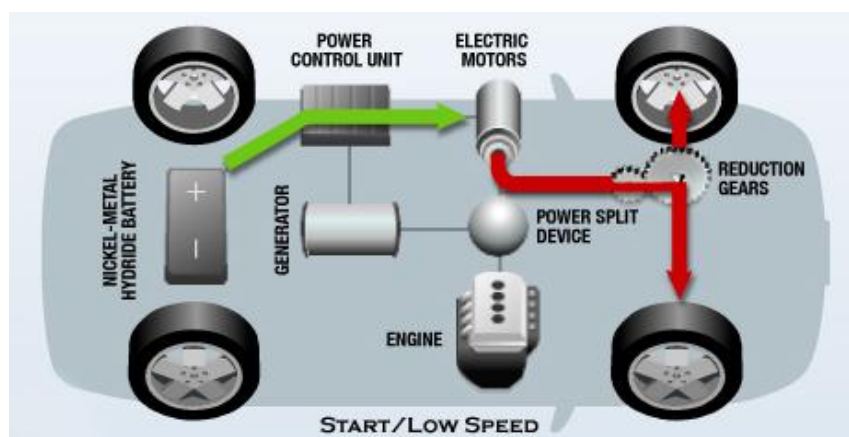


Figura 17 Funcionamento do sistema a baixa velocidade.

Quando a velocidade ultrapassa os 50Km/h, o motor de combustão liga-se automaticamente para ajudar na propulsão do veículo. Nesta fase, e através do *power split device*, divide a potência do motor de combustão diretamente para o eixo dianteiro assim como o gerador, que por sua vez alimenta o motor elétrico, fazendo com que este forneça também propulsão ao eixo dianteiro, como mostra a Figura 18. As baterias não fornecem energia ao motor elétrico e, caso seja necessário, estas podem ser carregadas através do gerador.

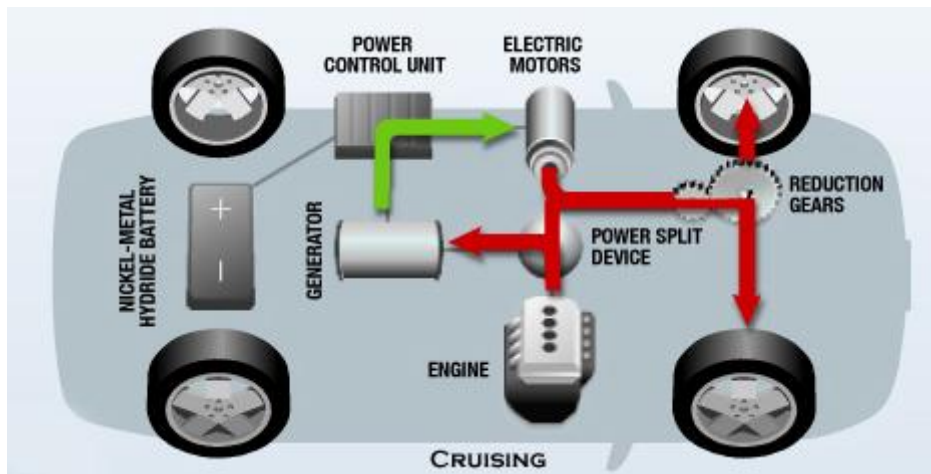


Figura 18 Funcionamento do sistema em andamento normal.

A regeneração de energia para carregar as baterias acontece aquando uma desaceleração, aproveitando a energia cinética do veículo. Nesta fase, o motor elétrico passa a funcionar como gerador, carregando as betarias, assim como o motor de combustão, através do próprio gerador. O esquema nesta fase pode ser visto na figura seguinte.

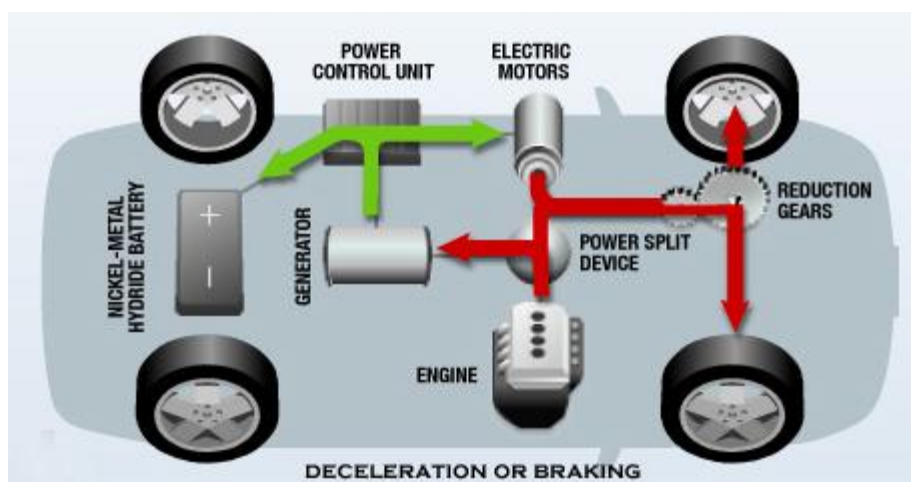


Figura 19 Funcionamento do sistema aquando uma desaceleração

A transmissão é feita com recurso à *Electronically controlled Continuously Variable Transmission* ou ECVT.

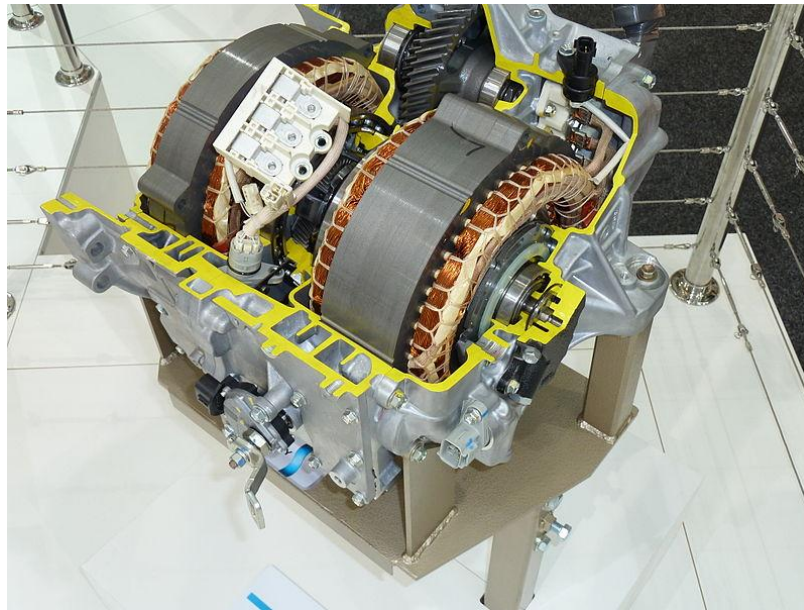


Figura 20 ECVT usado no Toyota Prius

É uma Transmissão automática de variação contínua. Trata-se de um tipo de transmissão que recorre a correias e polias de diâmetro variável. Quando se aumenta ou se diminui o diâmetro das polias está a variar-se a relação da caixa de velocidades. Deste modo conseguem-se ter infinitas relações de caixa, pois a variação do diâmetro das polias é feita de uma forma contínua. Para o bom funcionamento do sistema, as caixas ECVT utilizam uma central eletrónica que, com base na posição do acelerador e na velocidade do veículo, decide qual o diâmetro mais adequado para as polias. A vantagem deste tipo de transmissão é que não permite a transmissão de binários muito elevados.

O Prius tem como velocidade máxima 180Km/h e aceleração dos 0 aos 100Km/h em 9,8 segundos. O gasto anunciado pela marca situa-se nos 4,7 litros a cada 100Km em consumo misto.

O Prius em Portugal pode ser comprado a partir dos €28,465.

Peugeot 3008 Hybrid4

Este modelo da Peugeot irá ser lançado em finais de 2012 como o primeiro híbrido com motor de combustão interna diesel. Promete consumos de 3,7 litros a cada 100Km e preço inicial de €35.950.



Figura 21 Peugeot 3008 Hybrid4

O motor diesel debita 163 cavalos ou 121KW, tendo 2000 cc de cilindrada. Já o motor elétrico debita apenas 37 cavalos ou 27 KW. Em relação às baterias, são de Ni-MH.

Vai ter 4 modos de funcionamento: modo ZEV, em que será capaz de circular apenas em modo elétrico até aos 60Km/h; modo Sport, em que ambos os motores trabalham em simultâneo para fornecer o máximo de potência para uma condução desportiva, funcionando apenas o eixo dianteiro; 4WD, em que ambos os motores funcionam também em simultâneo, no entanto, o motor diesel fornece tração ao eixo dianteiro, e o motor elétrico ao eixo traseiro; em modo auto, os motores alternam entre si, dependendo da velocidade a que circula e a pressão no pedal do acelerador.

Com o depósito de combustível totalmente abastecido, o 3008 consegue uma autonomia de 900Km, sendo que, com as baterias totalmente carregadas, o uso do modo elétrico pode aumentar a autonomia mais 280Km.

Não existem para já mais informações sobre o automóvel, apenas o seu preço, que sairá com preço inicial de €35.950.

- Veículos Elétricos híbridos plug-in

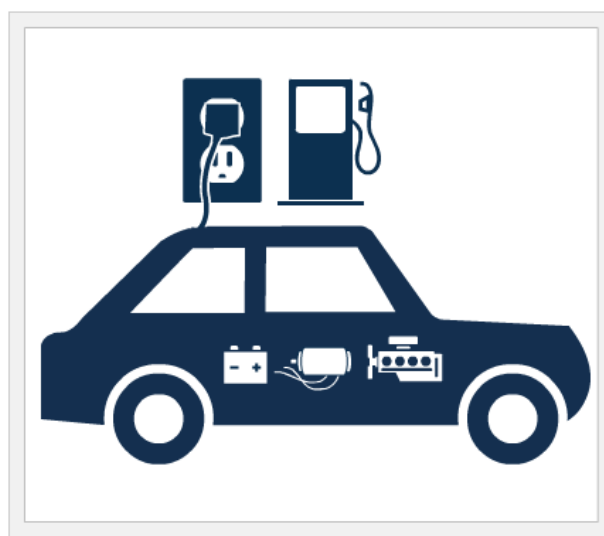


Figura 22 Esquema exemplificativo de um veículo elétrico

Semelhante aos híbridos, possui um motor de combustão interna, um motor elétrico e respetivas baterias, mas de maior capacidade. A diferença está na possibilidade de estas poderem ser carregadas através da rede elétrica - daí o nome plug-in.

O motor elétrico e o motor de combustão interna podem ser colocados de 2 diferentes formas:

- Em paralelo, tanto o motor elétrico como o motor de combustão interna estão ligados diretamente às rodas motrizes. Desta forma, ambos os motores podem impulsionar o veículo diretamente às rodas;
- Em série, apenas o motor elétrico está ligado às rodas, sendo este o que impulsiona o carro e o motor de combustão interna usado apenas para gerar eletricidade para alimentar o motor elétrico.

Chevrolet Volt / Opel Ampera

O Chevrolet Volt é o primeiro plug-in híbrido do mundo, desenvolvido pela General Motors, vendido como Opel Ampera na Europa, Vauxhall Ampera no Reino Unido e Holden Volt na Austrália. No entanto, a própria GM prefere chamá-lo como *Extended Range Electric Vehicle* ou veículo elétrico com extensor de autonomia.



Figura 23 Opel Ampera

É considerado pela EPA (*United States Environmental Protection Agency*) como o veículo com motor de combustão interna mais eficiente vendido nos Estados Unidos. [3]

A sua comercialização começou a Dezembro de 2010 nos Estados Unidos, e em Fevereiro de 2012 na Europa.

Vários prémios foram atribuídos ao Chevrolet Volt: Green Car Vision Award em 2009, Green Car of the year em 2011, North American Car of the year em 2011, World Green Car em 2011 e European Car of the year em 2012.

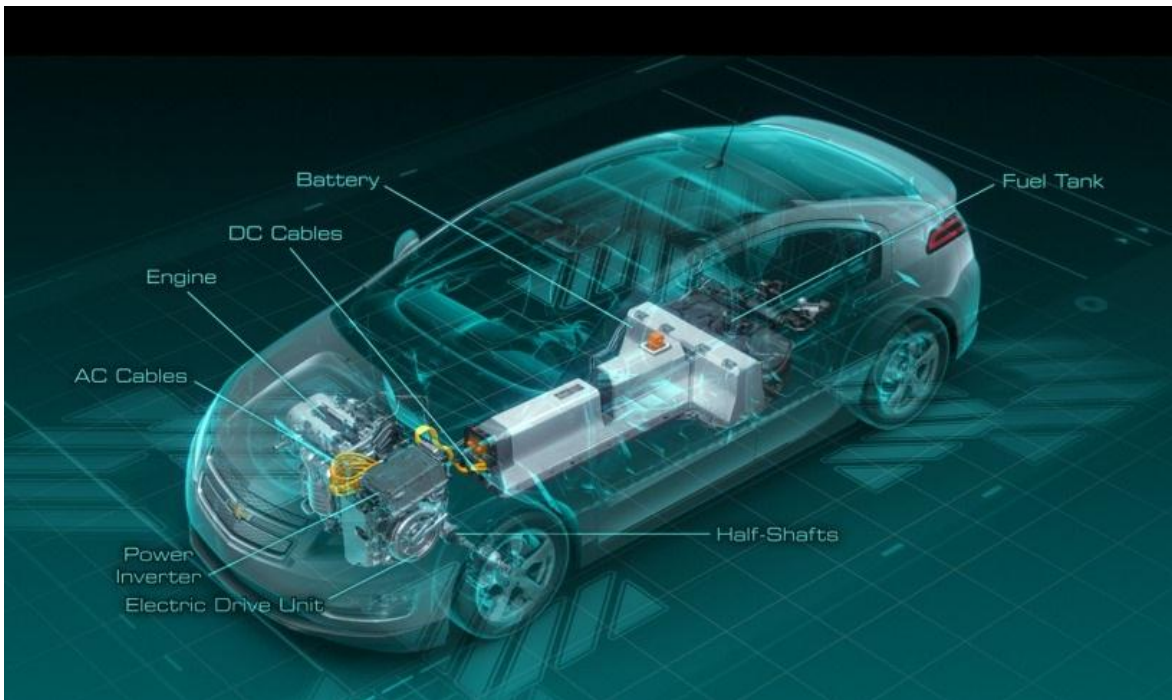


Figura 24 Componentes principais do Voltec powertrain da GM

O Chevrolet Volt incorpora o sistema *Voltec PowerTrain* da GM, que consiste num chassis já com o motor de combustão, motor elétrico, toda a eletrónica, baterias e tanque de combustível. A vantagem deste conceito está na possibilidade de este chassis poder ser usado em diferentes modelos. Na Figura 24 está ilustrada a ideia deste conceito já incorporado no Chevrolet Volt.

Este sistema é considerado um puro elétrico, em que as baterias podem ser carregadas através da rede elétrica, numa casa ou em pontos de carregamento próprios, como também um *mid-hybrid*, ou seja, apesar de ter motor de combustão, apenas o motor elétrico dá propulsão ao automóvel, sendo que o motor de combustão alimenta o motor elétrico através de um gerador, que carrega também as baterias. O *Voltec PowerTrain* também pode ser considerado como um *full-hybrid*, em que o motor de combustão também dá propulsão ao automóvel diretamente. Este ponto tem gerado controvérsia, já que o sistema tem este modo, *full-hybrid*, não pode ser considerado como um veículo elétrico, no entanto, a GM divulga o Chevrolet Volt como um puro elétrico. [5]

No entanto, depois de se perceber o funcionamento do *Voltec PowerTrain*, pode ser considerado mais como um híbrido do que um elétrico.

Em relação aos componentes do sistema, este é constituído por baterias de íões de lítio de 16kW. Incorpora 2 motores elétricos, um de 111kW e outro de 55kW. O motor de combustão interna é de 1400 centímetros cúbicos a gasolina de 63kW. A transmissão é do tipo *planetary* com três embraiagens.

O *Voltec PowerTrain* tem 4 modos de funcionamento, sendo os 2 primeiros como puro elétrico:

1º Modo: um motor elétrico: neste modo, apenas o motor elétrico principal dá propulsão ao veículo, tendo autonomia para uma gama entre 40 a 80 Km, usando energia apenas das baterias. Este é o modo em que irá operar na maior parte do seu tempo, quando em cidade.

2º Modo: duplo motor elétrico: neste modo, o segundo motor entra em ação de forma a diminuir a velocidade do primeiro, aumentando a eficiência. Utilizado mais para altas velocidades, como em autoestrada.

3º Modo: extensão de autonomia a um motor: quando a bateria se encontra a um nível baixo, o motor de combustão interna entra em funcionamento e, através do gerador, alimenta o motor elétrico e recarrega as baterias, aumento assim a autonomia para 610Km. O veículo é propulsionado apenas pelo motor elétrico.

4º Modo: extensão de autonomia a dois motores: neste modo, o motor de combustão interna também propulsiona o veículo e ao mesmo tempo recarrega as baterias através do gerador.

Baseado nos dados dos utilizadores do Volt, dois terços dos quilómetros percorridos são feitos em modo elétrico. Em média, a distância percorrida entre cada abastecimento total do depósito é de 1600Km, visitando o posto de combustível uma vez por mês. O consumo de combustível fica pelos 2 litros por cada 100Km. [4]

Regra geral, o veículo andarà nos modos 1 e 2, o que significa que as baterias serão carregadas durante a noite ligando o veículo a uma tomada de casa, poupando bastante dinheiro nos abastecimentos num posto de combustível. Ao percorrer grandes distancias, para além da autonomia das baterias, os modos apropriados são o 3 e 4, dependendo da potência exigida durante a condução.

2.2. BATERIAS

Nos veículos elétricos, tanto puros como híbridos, a bateria é um elemento chave para o sucesso deste tipo de veículos. Neste momento, a autonomia é o calcanhar de Aquiles para a massificação destes veículos, já que ainda é um pouco limitada devido ao elevado custo das baterias, ou seja, da capacidade para armazenamento de energia para propulsão do veículo.

Existem várias tecnologias, mas nem todas apropriadas para serem utilizadas como fonte de energia principal nos veículos elétricos, pelo que vão ser abordadas as mais usadas e promissoras. No entanto, vão ser abordadas também as baterias de chumbo, unicamente por serem as que estão a ser utilizadas no projeto que está a ser desenvolvido do carro elétrico.

2.2.1. CHUMBO - ÁCIDO

Foi Raymond Gaston Planté, através das suas pesquisas, que as baterias de chumbo começaram a tomar forma, em 1860, apesar de as primeiras células terem muito pouca capacidade. No entanto, através das suas experiências, conseguiu formar o material ativo necessário para aumentar a capacidade, tendo sido melhorada praticamente até aos anos 70.

Foi a primeira bateria a ser comercializada e disponível para toda a população. Hoje em dia, as baterias de chumbo são uma tecnologia madura e confiável, conhecida por todos, e utilizada nas mais diversas áreas, desde a indústria automóvel, grandes sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (UPS), cadeiras de rodas, empilhadores, centrais telefónicas, hospitais, etc.

A última grande mudança netas baterias foi nos anos 70, em que cientistas conseguiram desenvolver um sistema em que tornava estas baterias livres de manutenção. O eletrólito líquido foi substituído por separadores humedecidos e o involucro foi selado. Para a libertação de gás durante as cargas e descargas, foram adicionadas válvulas de segurança.

Existem 2 tipos de baterias de chumbo: as SLA (*Sealed Lead Acid*) conhecidas como Gelcell e as VLRA (*Valve Regulated Lead Acid*), no entanto ambas têm Válvulas de Segurança. As SLA têm um intervalo de capacidade entre os 0,2Ah e os 30Ah, enquanto que as VRLA vão desde alguns Ah até vários milhares de Ah.

A Figura 25 mostra a constituição de uma bateria ácida de chumbo.

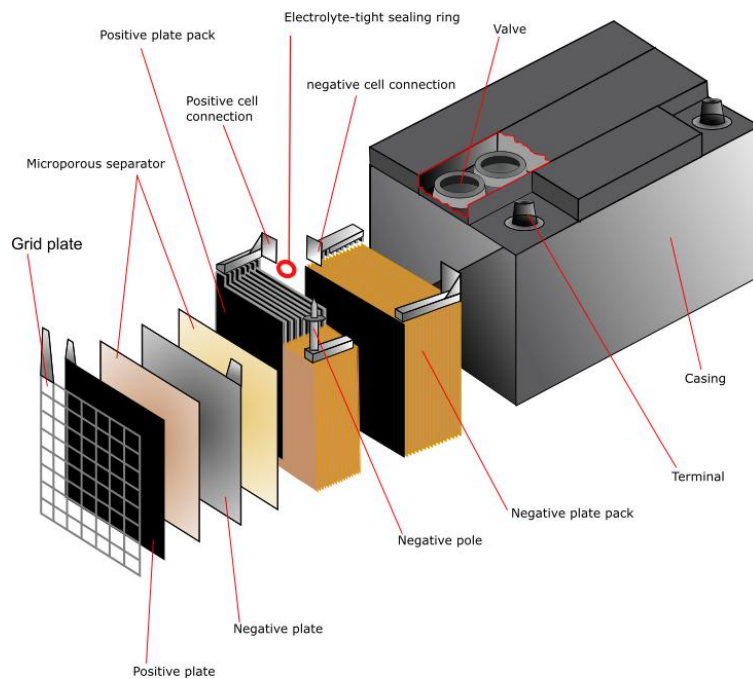


Figura 25 Elementos de uma bateria de chumbo - ácida.

Uma bateria é constituída por 6 células em série, cada uma de 2.3V, pelo que uma bateria de 12V tem na verdade 13.8V quando carregada. Uma célula é constituída por uma grelha, placa positiva, um separador microporoso, placa negativa e outro separador microporoso. As células encontram-se submersas numa solução de ácido sulfúrico. A Figura 26 mostra a disposição das células no interior do invólucro.



Figura 26 Interior de uma bateria de chumbo mostrando a disposição das células.

Composição e reações

Os esquemas seguintes mostram as reações químicas que acontecem na utilização deste tipo de bateria, tanto em carga como em descarga.

Quando a bateria se encontra carregada, o eletrodo positivo (cátodo) é constituído por óxido de chumbo (PbO_2), enquanto que o eletrodo negativo (ânodo) é constituído por chumbo (Pb). O eletrólito é uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Durante a descarga, tanto o ânodo como o cátodo vão transformando-se lentamente em Sulfato de chumbo (PbSO_4).

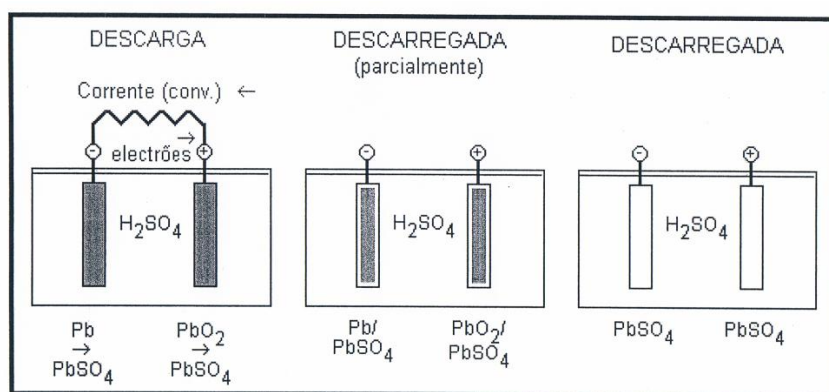


Figura 27 Esquema explicativo das reações aquando do descarregamento da bateria de chumbo.

Durante o carregamento da bateria, o ânodo transforma-se novamente em Chumbo e o cátodo em Oxido de Chumbo.

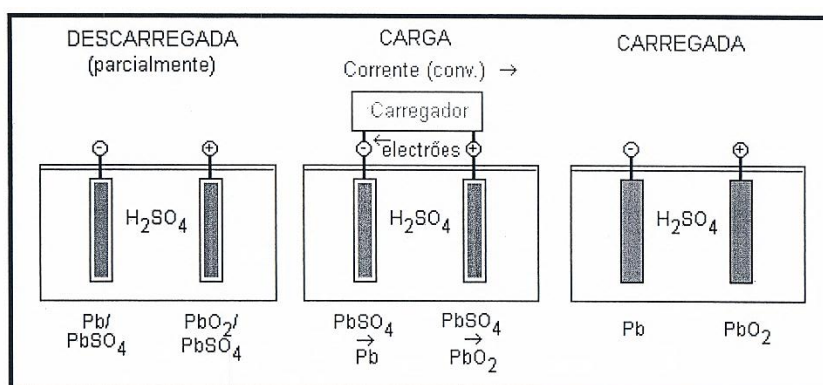
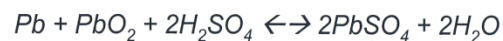
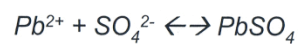
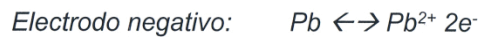
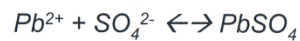
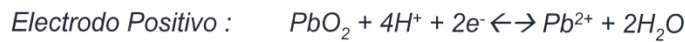
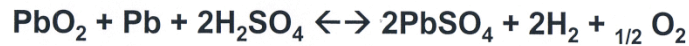


Figura 28 Esquema explicativo das reações aquando do carregamento da bateria de chumbo.

A solução do eletrólito mantém-se inalterada durante ambos os processos. As equações químicas da bateria de chumbo são

Equação Geral



Características

As baterias de chumbo têm uma boa retenção de carga, ou seja, se for guardada carregada, ela auto descarrega se pouco, á volta de 40% da sua energia / ano.

Estas baterias não devem ser armazenadas descarregadas, podendo causar sulfatação, sendo depois quase impossível de voltar a carregar. O ideal é guarda-las carregadas.

Outro cuidado tem a ver com os ciclos profundos. As descargas completas causam uma tensão extra e cada ciclo de carga/descarga rouba uma pequena quantidade de capacidade da bateria. Para evitar descargas profundas, o ideal é usar uma bateria com maior capacidade.

Dependendo da temperatura de funcionamento e a profundidade das descargas, as baterias de chumbo executa cerca de 200/300 ciclos de carga/descarga. A principal causa para a sua curta vida é a corrosão da grade do cátodo, degradação do material cativo e expansão das placas positivas.

Um facto que influencia muito a vida destas baterias, é a temperatura de operação. O ideal é à volta dos 25°C. A cada 8°C acima, a vida útil da bateria diminui 50%. Como título de exemplo, a 25°C, uma bateria de chumbo duraria 10 anos, a 33°C cerca de 5 anos e a 42°C pouco mais de 1 ano.

Formas de carregamento

A forma mais correta para carregar uma bateria de chumbo está dividida por 3 fases. A primeira fase é carregar à potência máxima, até chegar a cerca de 80% da sua capacidade. Na segunda fase o carregamento deve ser feito por tensão constante, em que a corrente irá diminuir, assim como a formação de gases, aumentando a eficiência do carregamento. A terceira fase é descrita como modo de flutuação, uma vez que é feita em pulsos. A razão é que desta forma, equaliza-se os valores de tensão nas células e reverte o efeito de sulfatação dos elétrodos.

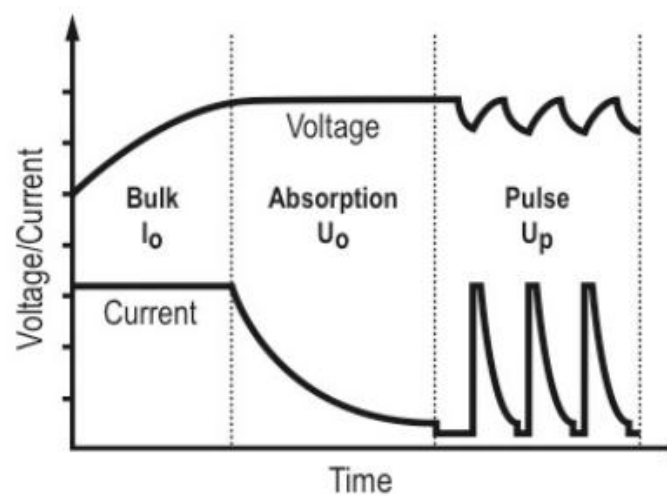


Figura 29 Forma de carregamento da bateria de chumbo.

2.2.2. Ni-MH

Com o aparecimento da microeletrônica, foram surgindo aparelhos portáteis, como telemóveis e computadores portáteis. No entanto, estes aparelhos necessitavam de alimentação e mesmo as baterias melhor indicadas existentes na altura, as Ni-CD, não conseguiram acompanhar o rápido crescimento destes aparelhos, devido à pouca densidade energética que possuíam, assim como o seu peso. Outra desvantagem tinha a ver com um dos seus elementos, o cádmio, nocivo para o meio ambiente. Todos estes problemas levaram ao surgimento de uma nova tecnologia, as Ni-MH, Hidretos metálicos de Níquel. [6]

As Ni-MH têm uma maior densidade de energia (30 a 40%) em relação às Ni-CD e ecologicamente mais corretas, uma vez que usa hidrogénio absorvido na liga, na forma de hidreto metálico, em vez de cádmio, podendo estas serem recicladas. Como o eletródio de hidreto metálico apresenta uma maior densidade de energia que o eletródio de Cadmio, a massa de material cativo para o eletródio negativo para uma bateria de Ni-MH pode ser menor que numa bateria de Ni-CD sobrando assim espaço para o eletródio positivo, podendo aumentar o material cativo no eletródio positivo e, conseqüentemente, aumentar a sua capacidade. O efeito de memória também é menor.

VANTAGENS	DESvantagens
Capacidade de armazenamento de carga maior que as baterias de níquel cádmio.	Desempenho de descarga não é tão boa quanto as baterias de níquel-cádmio.
Não há necessidade de manutenção.	Retenção de carga pobre, pois sofre um processo de auto-descarga de aproximadamente 2% ao dia.
Isenta de cádmio; problemas ambientais bastante reduzidos.	Efeito de memória moderado.
Rápida capacidade de recarga.	
Ciclo de vida longo.	
Vida longa em qualquer estado de carga.	

Tabela 2 Vantagens e desvantagens das baterias Ni-MH sobre as Ni-CD.

A Figura 30 mostra um esquema sobre a constituição da uma bateria de Ni-MH. O material cativo do eletródio positivo, quando carregado, é oxi-hidróxido de níquel III (NiOOH). Já para o eletródio negativo, o material cativo, quando carregado, é um composto metálico capaz de se ligar ao hidrogénio. Esta liga é capaz de absorver hidrogénio quando está a ser carregada e libertar o hidrogénio quando a mesma está a ser descarregada, fornecendo assim energia.

O eletrólito é uma solução aquosa de hidróxido de potássio (KOH). Uma quantidade mínima de eletrólito é usada na célula selada, com a maioria do líquido a ser absorvido por um separador e pelos elétrodos. Esta pequena quantidade de eletrólito permite facilitar a difusão do oxigénio para o eletródio negativo ao longo da carga.

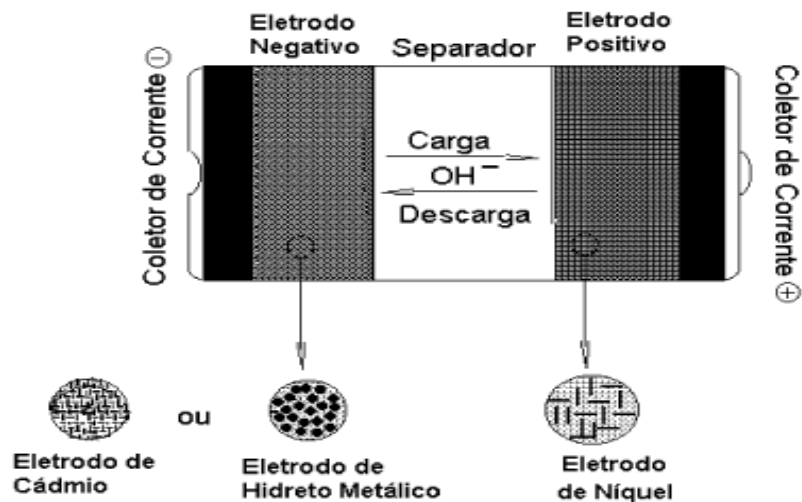
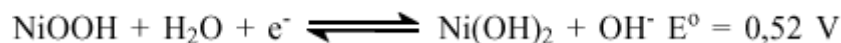
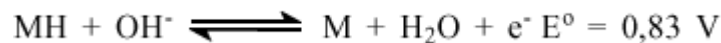


Figura 30 Esquema de uma bateria Ni-MH para os processos de carga e descarga.

Durante a descarga, no eletródio positivo, o oxi-hidróxido de níquel III é reduzido a hidróxido de níquel II,



enquanto que no eletródio negativo, o hidreto metálico MH é oxidado para regenerar a liga metálica M,



em que M é um composto intermetálico. A reação global de descarga da bateria de níquel-hidreto metálico dada pela reação:



Estas baterias apresentam algumas desvantagens, entre elas os repetidos ciclos de carga e descarga profunda, em que reduzem a vida útil da bateria. O seu desempenho deteriora-se após 200 a 300 ciclos. Aconselham-se cargas e descargas parciais.

Embora estas baterias possam oferecer altas correntes de descarga, repetidas descargas com elevadas correntes podem reduzir a vida útil da bateria. Descargas de 0.2C a 0.5C da corrente nominal é o aconselhável para os melhores resultados em relação à vida útil desta bateria.

Outro problema tem a ver com a auto descarga. As Ni-CD perdem cerca de 10% da sua capacidade dentro das primeiras 24 horas, sendo que a partir daí a descarga estabiliza para cerca de 10% ao mês. A auto descarga nas Ni-MH é aproximadamente uma vez e meia a duas vezes superior aos das Ni-CD.

Esta bateria exige alguma manutenção, que passa pelo descarregamento completo regularmente para evitar a formação de cristais.

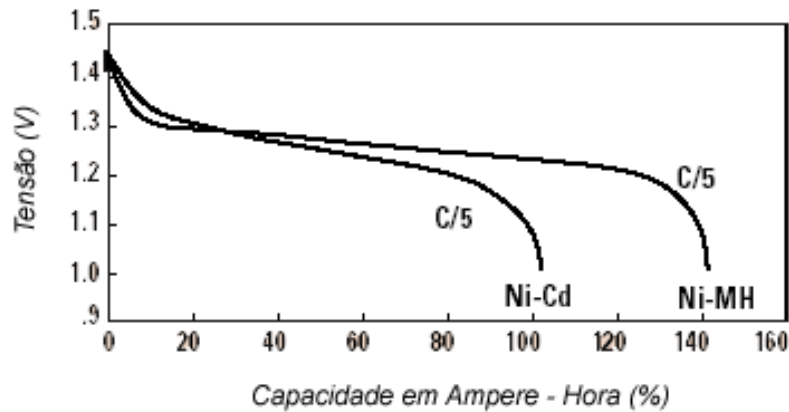


Figura 31 Gráfico com C rate comparativo

2.2.3. IÕES DE LÍTIO

Estas baterias são uma tecnologia relativamente recente, já que os primeiros testes foram feitos nos anos 70, em que o lítio era usado na forma de metal, sendo muito instável e, por isso mesmo, com resultados não desejados como explosão, destruindo os equipamentos e até mesmo ferindo os utilizadores.

Sendo o lítio um material muito instável, durante a década de 80, as pesquisas focaram-se na utilização de iões de lítio, bem mais estável. Esta mudança deu os seus frutos em 1991, quando a Sony lançou as primeiras baterias comerciais.

No entanto, estas baterias sempre foram temperamentais. Como exemplo disso, em 2006 a Dell e a Apple foram obrigadas a fazer um *recall* para substituir cerca de 5.9 milhões de baterias com células de um lote defeituoso, fabricado pela Sony. Estas células foram produzidas acidentalmente com lítio contaminado com outros metais.

Mesmo com uma probabilidade muito baixa de acontecer, era possível como mostra a Figura 32: um equipamento que continha uma dessas baterias a ser destruído, de forma perigosa para o utilizador. [7]



Figura 32 Equipamento a ser destruído pela explosão da sua bateria defeituosa

Apesar destas baterias ainda serem instáveis, são as baterias padrão neste momento. Em comparação com as tecnologias anteriores, Ni-CD e Ni-MH, são bem mais temperamentais e complexas, mas têm uma densidade energética 2 a 3 vezes superior.

Para um longo tempo de vida, o mais indicado para este tipo de tecnologia é não as deixar descarregar até ao final, uma vez que oxidam com facilidade caso sejam totalmente descarregadas. Este problema resolve-se facilmente, já que este tipo de baterias podem ser carregadas a qualquer altura já que não têm efeito de memória.

As células podem rachar ou até explodir caso estas sejam aquecidas a mais de 60° Celcius, ou caso sejam carregadas mais do que a sua capacidade.

Devido a este problema, estas baterias têm que obrigatoriamente ser acompanhadas por um circuito inteligente que faça a monitorização da sua carga e temperatura a fim de evitar o sobreaquecimento e sobre carregamento. Este é o principal motivo para a não utilização desta tecnologia como pilhas recarregáveis, estando esse cargo entregue às Ni-MH e Ni-CD, uma vez que as pilhas teriam que ser acompanhadas por um circuito deste género, tornando estas pilhas dispendiosas. Outro facto para a não comercialização de pilhas com esta tecnologia é a sua tensão de 3,6V, valor este não habitual para aparelhos móveis.

Esta tecnologia apresenta ainda mais desvantagens. Entre as já referidas atrás, é a menos madura, uma vez que os metais e químicos não estão ainda totalmente definidos, havendo ainda estudos aos tipos de materiais a utilizar para tornar esta tecnologia mais segura. O custo de fabrico é outro problema. Esta tecnologia é 40% mais cara que as Ni-CD por exemplo.

Relativamente às vantagens, elas são inúmeras, principalmente no que toca á densidade energética e sua capacidade de conseguir prover correntes elevadas. Todas as outras tecnologias ficam atrás.

O Auto descarregamento não é motivo de preocupação nesta tecnologia, sendo praticamente metade em comparação com as Ni-CD. Não precisa de manutenção, como o descarregamento total periodicamente. Não existe também efeito de memória.

As vantagens são imensas em relação às tecnologias anteriores. No entanto, têm um preço: Segurança e custo.

Uma questão importante que ainda não foi referida para não criar confusão no leitor, é o tipo de bateria de Iões de Lítio. Ao contrário das Ni-MH, Ni-CD e de Chumbo em que os materiais são os mesmos nas diferentes tecnologias e por isso só existe um tipo de Ni-CD, um tipo de Ni-MH, dentro das Iões de Lítio, existem vários tipos de materiais e químicos, principalmente no cátodo, em que novos materiais têm vindo a surgir. Assim como no ânodo, para substituir a grafite. Daí se ter feito referencia que esta tecnologia não está ainda numa fase madura. Os nomes diferente consoante o material usado.

A tabela seguinte mostra os diferentes tipos de Li-ION.

Chemical name	Material	Abbreviation	Short form	Notes
Lithium Cobalt Oxide¹ Also Lithium Cobalate or lithium-ion-cobalt)	LiCoO_2 (60% Co)	LCO	Li-cobalt	High capacity; for cell phone laptop, camera
Lithium Manganese Oxide¹ Also Lithium Manganate or lithium-ion-manganese	LiMn_2O_4	LMO	Li-manganese, or spinel	Most safe; lower capacity than Li-cobalt but high specific power and long life. Power tools, e-bikes, EV, medical, hobbyist.
Lithium Iron Phosphate¹	LiFePO_4	LFP	Li-phosphate	
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide¹ , also lithium-manganese-cobalt-oxide	LiNiMnCoO_2 (10–20% Co)	NMC	NMC	
Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide¹	LiNiCoAlO_2 9% Co)	NCA	NCA	Gaining importance in electric powertrain and grid storage
Lithium Titanate²	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	LTO	Li-titanate	

Tabela 3 Os diferentes tipos de baterias de Iões de Lítio. (1) Material Cátodo (2) Material Ânodo [8].

Células de Li-ION

Como a maioria das baterias, o invólucro é em metal uma vez que a bateria é pressurizada. No entanto existe um pequeno orifício para libertar alguma da pressão caso a temperatura da bateria esteja elevada demais, evitando assim a sua explosão. Este orifício é apenas uma medida de segurança adicional, isto porque um sensor PTC monitoriza a temperatura evitando que a bateria aqueça excessivamente.

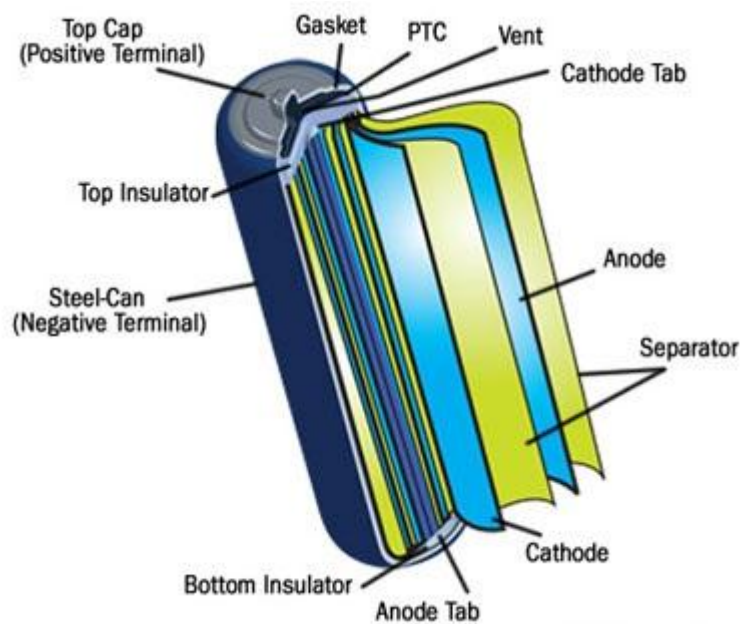


Figura 33 Constituição de uma célula Li-ION.

O invólucro de metal alberga uma longa espiral composta por três lâminas finas coladas umas nas outras:

- O eletródio Positivo
- O eletródio Negativo
- Separador

As lâminas são submersas num solvente orgânico agindo como um eletrólito. O separador é uma fina lâmina de plástico micro perfurada, separando os eletródios positivo e negativo, mas deixando passar eletrões.

Pegando de exemplo a bateria LiCoO_2 , o elétrodo positivo é de Lítio Oxido de Cobalto, sendo o negativo constituído por grafite. Enquanto a bateria carrega, iões de lítio atravessam o eletrólito desde o elétrodo positivo até ao negativo e fixam-se na grafite. Durante o descarregamento, os iões fazem o percurso contrário.

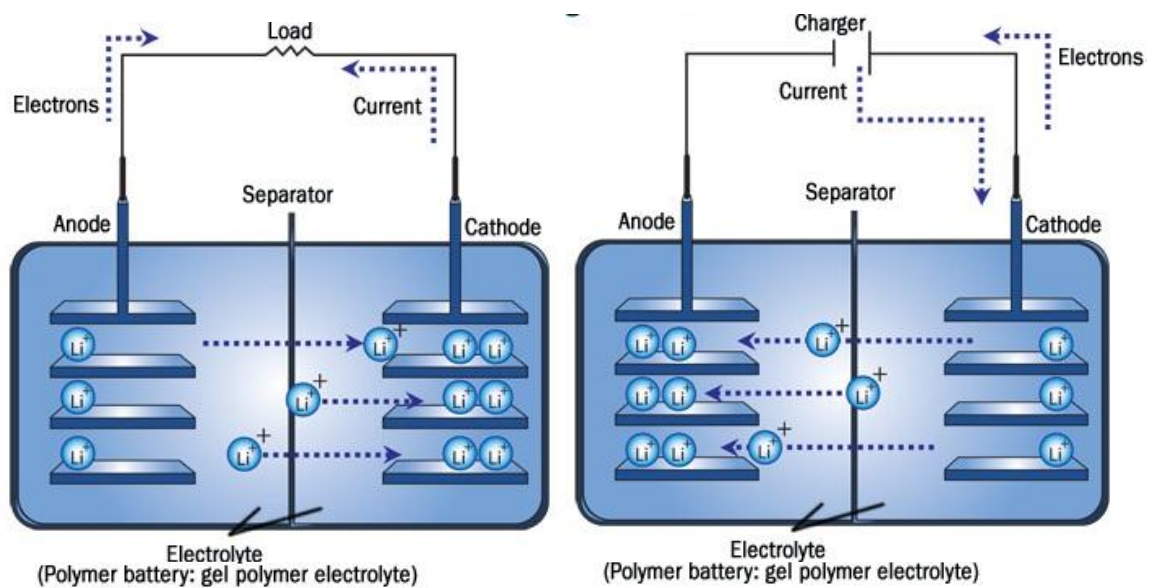


Figura 34 Esquema com as reações químicas que ocorrem quando do carregamento e em carga.

2.2.4. COMPARAÇÃO GERAL ENTRE BATERIAS

A tabela seguinte apresenta um resumo geral das características mais importantes dos principais tipos de baterias no mercado, fazendo também a comparação entre todas elas.

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–190	100–135	90–120
Internal resistance ¹ (mΩ)	<100 12V pack	100–200 6V pack	200–300 6V pack	150–300 7.2V	25–75 ² per cell	25–50 ² per cell
Cycle life ⁴ (80% discharge)	200–300	1000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Fast-charge time	8–16h	1h typical	2–4h	2–4h	1h or less	1h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/month (room temp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<10% ⁶		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁷	1.2V ⁷	3.6V ⁸	3.8V ⁸	3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50 – 3.00		2.80
Peak load current Best result	5C ⁹ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	>3C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C (32 to 113°F)		0 to 45°C ¹⁰ (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to °F)	–20 to 65°C (–4 to 49°F)		–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months ¹¹ (topping chg.)	30–60 days (discharge)	60–90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory ¹²		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		

Tabela 4 Características das baterias tipicamente mais utilizadas [8].

- 1 Resistência interna da bateria varia com a capacidade, as ligações e o numero de células.
- 2 Tamanho e forma da célula determina resistência interna.
- 3 Tempo de vida baseado numa bateria que recebe manutenção.
- 4 Tempo de vida é baseado da profundidade de descarga. Descargas não profundas aumentam o tempo de vida.

- 5 Auto descarga é a maior logo a seguir ao carregamento. NiCD perde 10% nas primeiras 24 horas, depois 10% a cada 30 dias. Altas temperaturas aumentam a auto descarga.
- 6 Circuito interno de proteção consome tipicamente 3% da capacidade mensalmente.
- 7 A tensão normal é 1.25V; 1.2V é mais comum.
- 8 Resistência interna baixa reduz a queda de tensão em carga.
- 9 Capaz de pulsos de alta corrente, precisa de tempo para recuperar.
- 10 Não carregar Li-ion abaixo do limite inferior de temperatura.
- 11 Manutenção pode ser na forma de equalização ou proteção contra carregamento excessivo para evitar sulfatação.
- 12 Corte se inferior a 2.20V ou superior 4.30V para a maioria das Li-ion.

A tabela seguinte mostra uma relação entre as características de cada uma das diferentes tecnologias e o seu custo.

Cost/Wh/cycle life x1000=\$	Nickel-cadmium 6 cells	Nickel-metal-hydride 6 cells	Lead-acid small 6 cell pack	Li-ion pack with two 18650 cells	Lead-acid for wheelchairs and scooters
Capacity	600mAh	1000mAh	2000mAh	2000mAh	33Ah
Voltage	7.2V	7.2V	12V	7.2V	12V
Energy per discharge	4.3Wh	7.2Wh	24Wh	14.4Wh	396Wh
Cycle life (best cases)	1500	500	250	500	250
Battery cost (ref. only)	\$50	\$70	\$50	\$150	\$100
Cost per kWh (\$US)	\$7.75	\$19.50	\$8.50	\$20	\$1.00

Figura 35 Tabela com comparação da capacidade e custo entre as principais baterias [8].

2.3. CARREGAMENTO DE BATERIAS

Um sistema de carregamento de baterias deve ter 3 funções principais: carregar, estabilizar/segurança, e saber quando terminar. Quando a bateria se encontra carregada, a corrente de carga tem que se dissipar de alguma forma. O resultado é a geração de gases e calor, sendo prejudicial para a bateria. Um bom carregamento será a total reconstituição das químicas iniciais da bateria e nesse ponto interromper o fornecimento de energia á mesma, impedindo que a bateria comesse a gerar calor excessivo e gases nocivos. Durante o carregamento, a temperatura da bateria aumenta devido ao fluxo de corrente e, esse aumento é proporcional com o valor da corrente de carga aplicada. Manter a temperatura dentro do intervalo de segurança é essencial de modo não danificar as células da bateria permanentemente.

O tempo de carregamento é um fator importante para o carregamento de baterias. Embora o carregamento rápido tenha vantagens na diminuição do tempo de carregamento, pode trazer consequências ao nível da diminuição do tempo de vida da bateria.

2.3.1. C RATE

A capacidade de uma bateria é medida em Amperes-hora, também chamado de C. É, teoricamente, a quantidade de corrente que a bateria fornece quando descarrega durante uma hora até estar totalmente descarregada.

No entanto, nem todas as fabricantes de baterias determinam a capacidade da mesma forma. Muitas companhias descarregam por 3, 5, 10 ou mesmo 20 horas, e só depois calculam a sua capacidade baseado nesse valor.

Tomando como exemplo uma bateria que foi medida durante 20 horas a 2 amperes, a sua capacidade deve ser 80Ah. No entanto, quanto mais depressa se descarrega, menor será a sua capacidade. Se a carga necessitar de 80A, provavelmente a bateria apenas durará 20 a 30 minutos.

C Rate é muitas vezes usado para descrever as cargas da bateria ou carregamentos. 1C é capacidade da bateria.

C-Rate	C-Rate	Hours of Discharge
1C (1 hour rate)	1C	1 hour
C/4 (4 hour rate)	0.25C	4 hours
C/10 (10 hour rate)	0.1C	10 hours
C/20 (20 hour rate)	0.05C	20 hours

Tabela 5 Tabela com diferentes C Rates [8].

No gráfico seguinte mostra a relação entre a taxa de carregamento e o tempo de vida da bateria.

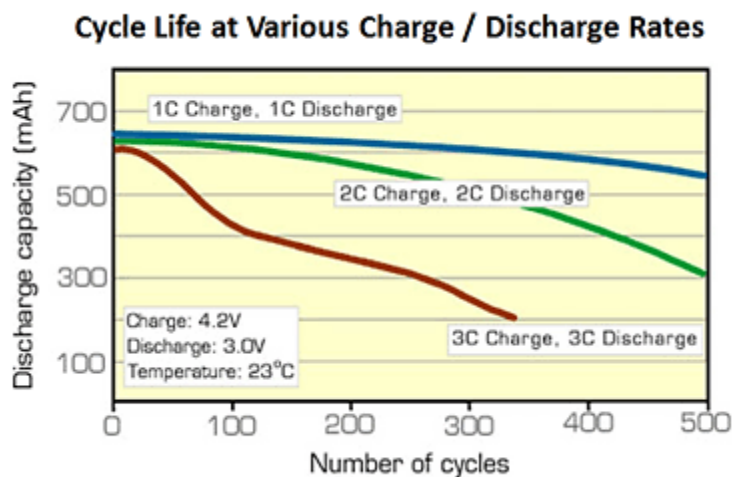


Figura 36 Numero de ciclos Vs C Rate [8].

2.3.2. MÉTODOS DE CARREGAMENTO

Constant Voltage – é um carregador bastante simples, sendo basicamente uma fonte de energia DC, consistindo num transformador e um retificador, fornecendo assim tensão DC constante à bateria, carregando a mesma. Estes tipos de projeto são encontrados em carregadores de bateria baratos, sendo bastante usados em baterias de chumbo. Em baterias de lítio, os carregadores têm incluído um sistema de proteção da bateria e utilizador.

Constant Current – este tipo de carregadores variam a tensão de modo a manter a corrente constante, desligando automaticamente quando a bateria se encontra totalmente carregada.

Pulsed charge – neste tipo de carregadores, a corrente é entregue à bateria em forma de pulsos. A taxa de carregamento pode ser controlada com precisão, através da variação da largura dos impulsos, tipicamente 1 segundo. Durante o processo de carga, os períodos de descanso de 20 a 30 ms permite que as reações químicas no processo de carregamento se estabilizem antes do próximo impulso, permitindo assim que a taxa de carregamento se mantenha. Evita também que ocorram reações químicas adversas na superfície do eletrodo, tais como a formação de gás.

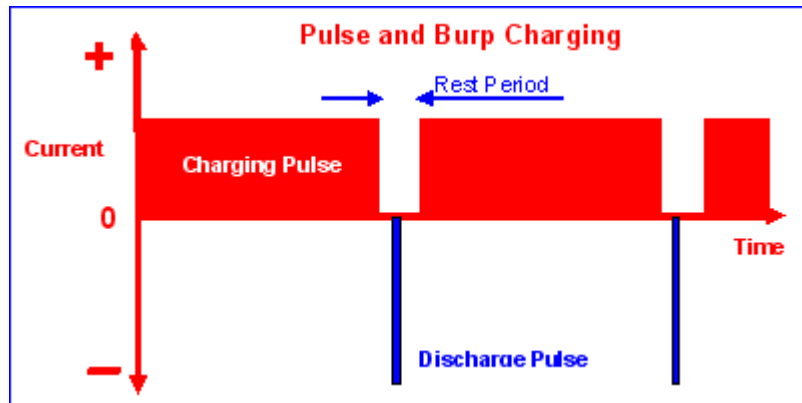


Figura 37 Esquema ilustrativo da carga em pulsos [8].

2.4. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

No primeiro capítulo já se descreveu o objetivo de um BMS, pelo que falta agora aprofundar sobre as diversas funcionalidades associadas ao sistema.

Características e funcionalidades que um BMS deve ter:

Monitorização das baterias

Profundidade da descarga (DOD)

Estado de saúde (SOH)

Medição e Proteção contra aquecimento

Proteção contra carga excessiva

Balanceamento das cargas das células

Valor Resistência

Gestão de energia

Possibilidade de opções de energia desempenho vs autonomia

Nível de carga (SOC)

Interface utilizador

Informação sobre temperatura, autonomia, carga

Proteção das células: é fulcral que qualquer BMS tenha mecanismos para evitar que as baterias funcionem fora dos seus limites estabelecidos. Na prática, um BMS deve monitorizar e proteger as células e não apenas aos terminais da bateria quando possível, de forma a evitar qualquer eventualidade. Ao operar baterias fora dos seus parâmetros, vão eventualmente surgir falhas e até danificar as baterias em que, na maior parte dos casos, substituir as baterias pode ser proibitivo em termos de custos. No caso de veículos elétricos, é de extrema importância a monitorização devido ao ambiente hostil em que trabalham para evitar a sua degradação e eventual substituição devido ao preço.

Em caso de falha externa, o sistema deve ser capaz de isolar a bateria e determinar a causa da falha. Em caso de aquecimento excessivo, deve também tomar medidas de proteção como ligar ventiladores e até desligar a bateria.

Controlo de Carregamento: funcionalidade indispensável para qualquer tipo de BMS para assegurar uma longa vida das baterias. O carregamento de forma incorreta é responsável pela maioria das danificações das baterias e a diminuição do tempo de vida.

Balaceamento de Células: em baterias com várias células, podem surgir pequenas diferenças devido a tolerâncias de fabrico ou condições de operação que tendem a amplificar em cada carregamento/descarregamento. As células mais fracas tornam-se instáveis durante os ciclos, o que pode levar a uma falha permanente na célula, danificando toda a bateria. Balancear as células tem como objetivo compensar as células mais fracas equalizando todas as células com o mesmo valor de tensão, aumentando assim o tempo de vida da bateria.

Determinação SOC: funcionalidade de extrema importância tal como a proteção das células. Muitas aplicações requerem a carga da bateria ou em cada célula, por exemplo, para determinar a autonomia num automóvel elétrico, para o processo de carregamento e descarregamento para evitar o carregamento excessivo ou descargas profundas, assim como para o balanceamento das células. Uma situação importante prende-se com o facto de, num sistema híbrido, sempre que uma travagem é feita por parte do condutor, através do sistema de regeneração de energia, essa energia é transferida para a bateria. Se a bateria se encontrar já bastante carregada, pode haver o caso de carregamento excessivo, danificando a bateria. Se a bateria estiver com pouca energia, esse problema já não ocorre mas, caso o condutor precise de energia, poderá haver uma descarga profunda da bateria por esta se encontrar em baixo, danificando também a mesma. O ideal será a carga da bateria se encontrar entre os 40 e 80%.

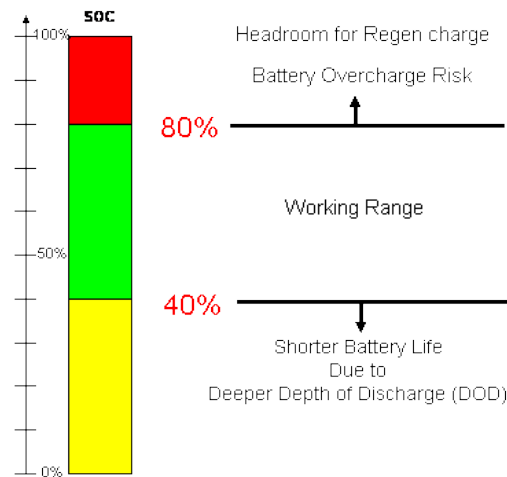


Figura 38 Intervalo ideal da capacidade da bateria para funcionamento num veículo elétrico

Determinação SOH: o estado de saúde é uma medida da capacidade da bateria fornecer na saída o estipulado. É importante na medida em que desta forma pode-se avaliar o estado da bateria de equipamentos de energia de emergência, ou até agendar manutenções.

Determinação DOD: profundidade de descarga é o quanto a bateria se aproxima do seu nível “vazio” em capacidade. Quanto mais a bateria for descarregada, maior é a profundidade de descarga. Este conceito é muito importante uma vez que praticamente todas as químicas reagem mal a descarregamentos profundos, podendo, em casos extremos, danificar uma bateria irreversivelmente. O nível de profundidade de descarga está diretamente relacionado com o tempo de vida da bateria, que decresce com a profundidade da descarga.

Comunicações: um BMS deve incorporar algum tipo de comunicação capaz de receber e enviar informações como alarmes e/ou historial de utilização, assim como dar a possibilidade do utilizador modificar definições. Falando especificamente de BMS para automóveis elétricos, o tipo de comunicação terá de ser o mesmo que o automóvel, sendo CAN o mais usual, por ser extremamente rápida e fiável.

Na verdade, fora das construtoras automóveis, existem já inúmeros projetos de empresas com este tipo de sistema para comercialização, tanto para utilizadores comuns ou amadores como para empresas ou profissionais que convertem veículos de combustão para elétrico. Este tipo de projetos são já concebidos com todos os equipamentos e funções de um BMS, pronto a ser utilizado por parte do comprador, tendo que fazer apenas as ligações necessárias, ou seja, um Sistema Embebido. No entanto, alguns fabricantes de circuitos integrados desenvolveram já IC's que fazem também o papel de um BMS, com todas as funções associadas a este tipo de sistemas. No entanto, tudo à volta tem que ser desenvolvido a partir desse integrado.

Será agora apresentado exemplo de um sistema embebido.

2.4.1. CLAYTON POWER



Figura 39 Battery Management System da Clayton Power

A Clayton Power é uma empresa Dinamarquesa fundada nos anos 90 especialista em soluções de energia desenvolvendo sistemas para diferentes indústrias como a marítima, militar e automóvel. No seu catálogo pode-se encontrar packs de baterias de lítio bastante complexos e inteligentes, apresentando ainda soluções como controlos remotos, inversores e carregadores, sistemas de gestão de baterias, etc.

E é este último produto que se vai dar ênfase. O *Battery Management System* da Clayton. Apesar de apenas aceitar baterias de lítio, é bastante completo no que toca à monitorização e proteção das mesmas.

No que toca a proteção das baterias, este sistema tem incluído funcionalidades como o balanceamento das células em 3 estados (carregamento, descarregamento e em stand by), monitorização da temperatura individual a cada célula e proteção contra o sobre carregamento também de forma individual a cada célula. Ao detetar um curto-circuito, reage imediatamente desligando o sistema, voltando a reiniciar automaticamente e voltar ao estado normal.

Como gestão de energia, o BMS da Clayton tem implementado funções como SOC para calcular o nível das baterias e, desta forma, prevenir também descarregamentos profundos ou o chamado DOC. Faz também monitorização constante da corrente de entrada e saída do sistema para detetar eventuais anomalias.

A Clayton Power adicionou ainda a este sistema algumas funções de diagnóstico e de armazenamento de dados de forma inteligente. Uma delas é o SOH da bateria, um conjunto de informações e estatísticas sobre as condições das mesmas. O equipamento vem ainda equipado com a possibilidade de ligação a um computador que debita todas a informações de sistema e histórico de utilização. Toda essa informação é armazenada num cartão de memória incluído no equipamento. [9]

Model C*/CF**	Volt	Ampere	Effect 15min.	Peak	Cell balance	Dimensions (mm)	Unit weight
BMS 4C / 4CF	12	250A / 300A	350A / 350A	500A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg
BMS 8C / 8CF	24	250A / 300A	350A / 350A	500A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg
BMS 12C / 12CF	36	250A / 300A	350A / 350A	500A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg
BMS 15C / 15CF	48	250A / 300A	350A / 350A	500A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg
BMS 19C / 19CF	60	125A / 250A	150A / 300A	400A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg
BMS 23C / 23CF	72	125A / 250A	150A / 300A	400A	1,5A	320 x 185 x 67	4 Kg

C* = Conventional cooling | CF** = Fan cooling

Tabela 6 Modelos do Battery Management System da Clayton

A Tabela 6 mostra os diferentes modelos que a empresa disponibiliza, havendo modelos entre 12 e 72 V, com diferentes correntes e 2 tipos de refrigeração.

Infelizmente a empresa não disponibiliza nenhum tipo de documentação técnica sobre o equipamento, pelo que não é possível entrar em detalhes técnicos de funcionamento e constituição.

3. PROJETO

De notar que o objetivo deste trabalho é desenvolver um BMS para ser instalado em veículos de combustão convertidos a elétricos puros.

Dito isto, neste capítulo irá ser projetado um BMS para ser instalado em veículos de combustão interna que serão alvo de conversão para um veículo puramente elétrico, com as características e funcionalidades mais importantes e úteis para o condutor.

Todas as funcionalidades implementadas vão ser explicadas, assim como o funcionamento de todo o sistema, incluindo lista de material e esquemas elétricos de todas as placas do sistema.

3.1. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

Será importante ter em atenção a Legislação para este sector. De acordo com o Decreto-Lei n.º 39/2010 da Constituição Portuguesa, é autorizada a conversão de veículos com motor de combustão interna em veículos elétricos, mas com restrições. De seguida fica a transcrição completa do decreto-lei:

Decreto-Lei n.º 39/2010

3 - É autorizada, mediante homologação do Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I. P. (IMTT), a conversão de veículos com motor de combustão interna em veículos elétricos, nos termos e condições seguintes:

a) A transformação deve assegurar as condições de segurança na circulação e no carregamento elétrico das baterias do veículo;

b) A unidade de carregamento deve ser compatível com os sistemas de abastecimento dos pontos de carregamento;

c) A adaptação da propulsão ao modo elétrico deve assegurar o correto funcionamento de todos os demais sistemas elétricos com os quais o veículo foi inicialmente aprovado.

Em relação ao Imposto Único de Circulação ou IUC, para o presente ano, 2012, o valor a pagar depende do ano de matrícula do veículo e da tensão, como mostra a Tabela 7.

Movidos a electricidade Voltagem total	Posterior a 1995	De 1990 a 1995	De 1981 a 1989
Até 100	17,25 €	10,87 €	7,63 €
Mais de 100	34,61 €	19,45 €	10,87 €

Tabela 7 Imposto Único de Circulação para Veículos elétricos anteriores a 2007.

A tabela é válida apenas para veículos com data de matriculo anterior a 2007 que, será o foco deste trabalho, uma vez que os veículos a converter serão maioritariamente veículos com idade superior a 10 anos por uma questão de viabilidade.

3.2. IDEIA DO SISTEMA

Antes de iniciar a explicação da ideia a desenvolver, salientar que não faz parte deste projeto motor, controlador e alimentação do sistema, apenas o BMS. Tudo à volta não está incluído, ficando por parte do instalador a escolha da melhor opção para esses sistemas, tendo em conta a compatibilidade entre todos eles.

A ideia base para este projeto será projetar um BMS que, da parte do instalador, a instalação e integração com o veículo e restantes sistemas (controlador, motor e alimentação) seja o mais simples possível, ou seja, apenas conectar entre os sistemas os cabos necessários para o funcionamento. O que se está a tentar desenvolver é um sistema embebido, pronto a funcionar.

Falando do BMS em si, este incluirá um sistema de carregamento rápido de baterias, um sistema de monitorização das mesmas e um sistema de processamento que inclui saída para interface para utilizador e ainda ligação compatível para sistema CAN. De seguida em detalhe ficam as funcionalidades para este projeto:

Monitorização das baterias

- Estado de saúde (SOH)

- Medição e Proteção contra aquecimento

- Proteção contra carga excessiva

- Balanceamento das cargas das baterias

Gestão de energia

- Nível de carga (SOC)

Interface utilizador

- Informação sobre temperatura, autonomia, carga

Falando dos aspetos técnicos deste sistema, ele será concebido para monitorizar baterias de Ácido de Chumbo de 12V com capacidades que podem ir além dos 327Ah. A corrente máxima de carregamento é de 15A, enquanto que em propulsão, o sistema conseguirá monitorizar até 100A, com picos até aos 300A. Estas são as limitações deste sistema. Não existe limite para o número de baterias ligadas em série, o que poderá, se se pretender, ultrapassar os 100V.

Como um dos objetivos deste trabalho é projetar um BMS que tenha em mente o preço, faz sentido conceberlo para monitorizar baterias de Chumbo Ácido que, apesar de neste momento não serem as mais indicadas para veículos elétricos, são indiscutivelmente mais baixas em relação ao preço.

3.3. DIAGRAMA DE BLOCOS

O design do sistema foi pensado de forma a que as baterias sejam carregadas e monitorizadas individualmente, ou seja, cada bateria teria o seu próprio carregador e o seu próprio monitorizador, como se pode ver na Figura 40.

Outra característica é a organização de todo o sistema. Cada funcionalidade ou subsistema está separado das restantes fisicamente, o mesmo que dizer que cada funcionalidade está desenhada em placas individuais, sendo elas:

Sistema de carregamento (Bloco Azul)

Sistema de monitorização (Bloco Verde)

Placa de Processamento (Bloco Azul Claro)

Placa de Ligações (Bloco Preto)

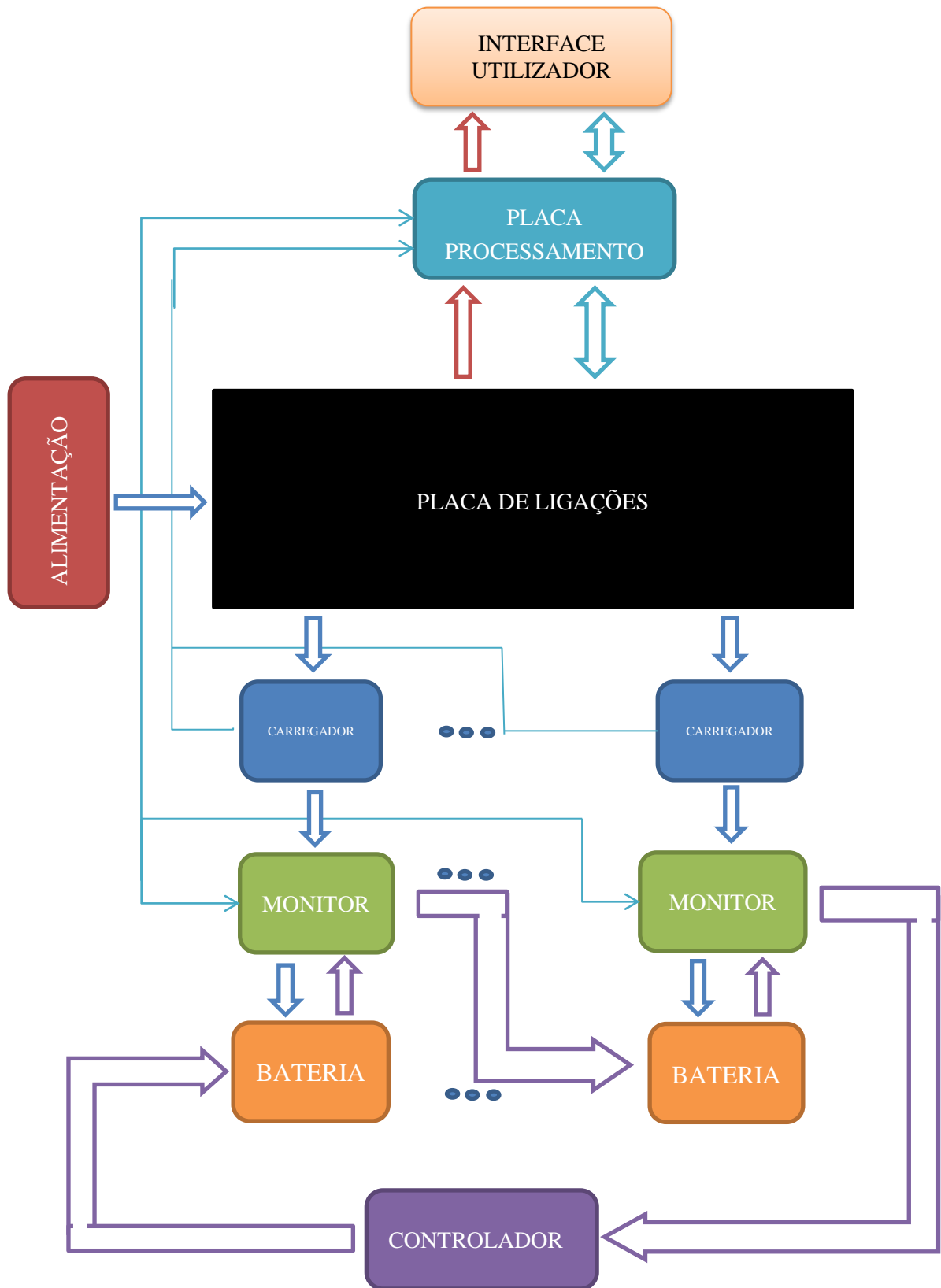


Figura 40 Diagrama de blocos do sistema

No mesmo diagrama é possível distinguir os 2 caminhos em que a corrente irá fluir: a azul, quando o sistema se encontrar a carregar, e a roxo, quando a fornecer energia ao controlador. De salientar que toda a corrente que passará pelas baterias terá que passar obrigatoriamente na placa de monitorização, tanto a carregar como a fornecer, de forma a quantificar a energia que circula nas baterias.

Tanto o Sistema de Monitorização como o Sistema de Carregamento estarão sempre em comunicação com a Sistema de Processamento.

3.4. BLOCOS OPERACIONAIS

De seguida vão ser explicadas em maior detalhe os blocos funcionais apresentados no Diagrama de Blocos.

3.4.1. SISTEMA DE CARREGAMENTO

Este é o bloco responsável pelo carregamento da bateria. Tem como cérebro um UC 3909 da *Unitrode*. É um controlador inteligente multi estágio capaz de monitorizar tensão, corrente e temperatura e decidir em que estágio de carregamento a bateria deve estar. Existem 4 estágios: trickle charge, bulk charge, over-charge e float charge. Através destes 4 estágios, o controlador consegue prolongar o tempo de vida da bateria. Referir também que o controlador tem incluído um sistema para sinalizar qual o estagio em que se encontra.

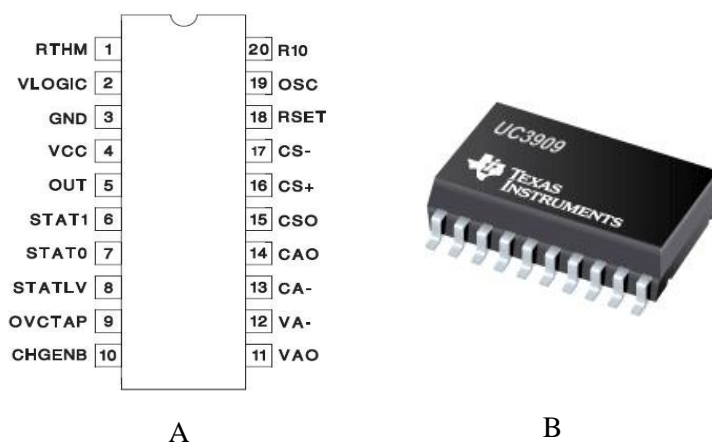


Figura 41 UC3909 A) Designação dos pinos B) pormenor do integrado

Este integrado tem um largo intervalo relativamente à alimentação, desde os 7,5VDC até aos 40VDC. Caso a tensão desça abaixo do valor mínimo, um mecanismo interno desliga todas as saídas e impede que o controlador opere.

Na Figura 42 estão ilustrados o comportamento da tensão e da corrente nos diferentes estágios.

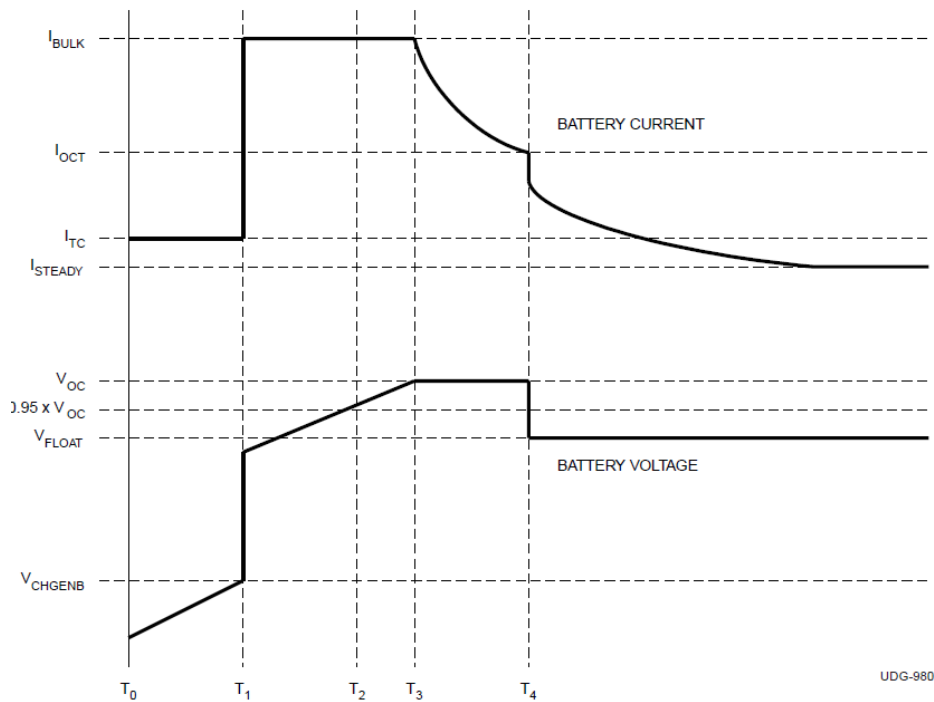


Figura 42 Tensão e corrente nos 4 estágios mostrados num ciclo de carregamento.

Quando o carregador é conectado à bateria, este monitoriza a tensão aos seus terminais e caso se encontre abaixo de V_{cutoff} ou V_{chgenb} , uma corrente $I_{trickle\ charge}$ (normalmente perto dos $C/100$) é aplicada até a tensão chegar a esse ponto (instante T_0 a T_1), que ronda os 2.3V. Este estágio é denominado de *Trickle Charge* e tem como propósito prevenir situações perigosas causadas pelo bombeamento de corrente de carga numa bateria danificada.

Entre os instantes T_1 a T_2 , entra o estágio *Bulk charge* em que o carregador irá fornecer à bateria uma corrente constante até esta se encontrar a 95% da sua capacidade, denominada $I_{Bulk\ Charge}$.

No estágio *Over Charge*, entre T2 e T4, o carregador encontra-se num ciclo, verificando a tensão até esta atingir um valor constante, $V_{\text{over charge}}$.

Até lá, irá continuar a carregar com uma corrente de valor fixo. Quando V_{oc} é atingido, o carregador entra num outro ciclo para manter esse valor, sendo que a corrente baixa.

O estágio *Float Charge* é ativado quando a corrente baixa e a tensão se mantém constante. A partir daí, o carregador continua a fornecer uma corrente até I_{bulk} para a bateria. Este estágio mantém-se até a tensão da bateria cair abaixo dos 90% de V_{oc} . Caso aconteça, o carregador entra novamente no estágio *Bulk Charger*.

De notar que os valores dos pontos de referência para cada estágio podem ser definidos através de cálculos fornecidos no *Datasheet* do CI, através da alteração de valores de resistência e condensadores, o que torna este integrado bastante versátil. Esses cálculos irão ser mostrados mais á frente.

Trickle charge

O pino CHGENB está ligado diretamente a um comparador interno que detetará quando a tensão da bateria se encontra abaixo da tensão de referência (2.3V), forçando STATLV a 0 lógico e iniciando o carregamento da bateria através do estágio *trickle charge*. Durante este estágio de carregamento, CA- fica com entrada de alta impedância para detetar $I_{\text{trick_control}}$ e definir I_{tc} máximo. I_{tc} é dada pela equação 1.

$$I_{\text{tc}} = \frac{I_{\text{trick_control}} \times R_{G1}}{R_s \times 5} \quad (1)$$

$I_{\text{trick_control}}$ é uma corrente de controlo fixa que entra no pino CA- e é-nos dado por

$$I_{\text{trick_control}} = \frac{0.115}{R_{\text{set}}} \quad (2)$$

É neste ponto que é também definida a tensão a que a bateria irá ser carregada, V_{oc} , no momento em que STATLV é forçado a 0. A equação 3 define esse valor.

$$V_{\text{oc}} = V_{\text{ref}} \times \frac{(R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4})}{(R_{S3} // R_{S4})} \quad (3)$$

Bulk charge state

À medida que a bateria carrega, a tensão vai aumentando, e quando CHGENB ultrapassa os 2.3V, o estágio seguinte é ativado, *Bulk Charge*. Neste ponto STATLV mantém-se a zero mas CA- está agora ativo para controlar I_{bulk} , definida pela equação seguinte:

$$\frac{RG1}{RG2} = \frac{5 \times V_{rs}}{V_{LOGIC-CA-}} = \frac{5 \times V_{rs}}{5V-2.3V} = \frac{5 \times V_{rs}}{2.7V} = 1.852 \times I_{bulk} \times R_s \quad (4)$$

Neste estágio a tensão da bateria é forçado para V_{oc} .

Over charge state

Esta fase, a bateria está carregada a 95%. O ciclo de carregamento vai estabilizando e a corrente vai começando a baixar. É possível determinar a o valor de corrente final de *overcharge* (I_{oct}) com a seguinte equação:

$$R_{ovc1} = (1.8518) \times I_{oct} \times R_S \times R_{ovc2} \quad (5)$$

Float state

STATLV é forçado ao estado lógico 1. O ciclo de carregamento entra agora numa fase em que irá regularizar a bateria para uma tensão de flutuação, sendo determinado pela equação 6.

$$V_f = (V_{ref}) \times \frac{(RS1+RS2+RS3)}{RS3} \quad (6)$$

No que toca ao consumo deste integrado, a partir da Figura 43 é possível concluir que, a uma tensão de 15V e entre os 20° e 30° C temperatura, I_{cc} ronda os 15mA. A potência ronda então os 225mW.

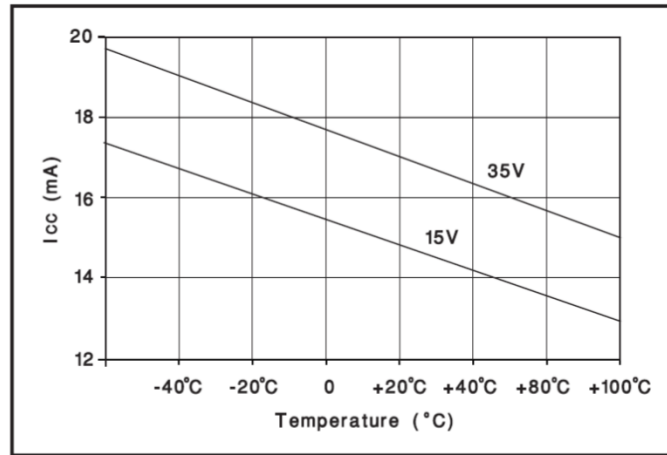


Figura 43 Icc vs temperatura

Driver

É o *driver* o responsável por entregar a energia diretamente á bateria, controlado pelo UC3909. Bloqueando ou deixando passar a corrente, a bateria irá receber a energia referente ao estágio em que se encontra o sistema. O funcionamento do *driver* irá ser explicado no Capítulo 4.

Indicação do estado de Carregamento

Através dos pinos STAT0 e STAT1 o bq3909 identifica em que fase de carregamento se encontra. A tabela seguinte mostra a codificação essa indicação.

	STAT1	STAT0
Trickle Charge	0	0
Bulk Charge	0	1
Over Charge	1	0
Float Charge	1	1

Tabela 8 Tabela com indicação dos estados de carregamento através dos pinos STAT0 e STAT1

3.4.2. MONITORIZAÇÃO

Será neste bloco que o BMS fará a gestão das baterias através de um bq78412 da Texas Instruments, um CI de gestão de baterias de Chumbo Ácido com indicador de estado de carga.

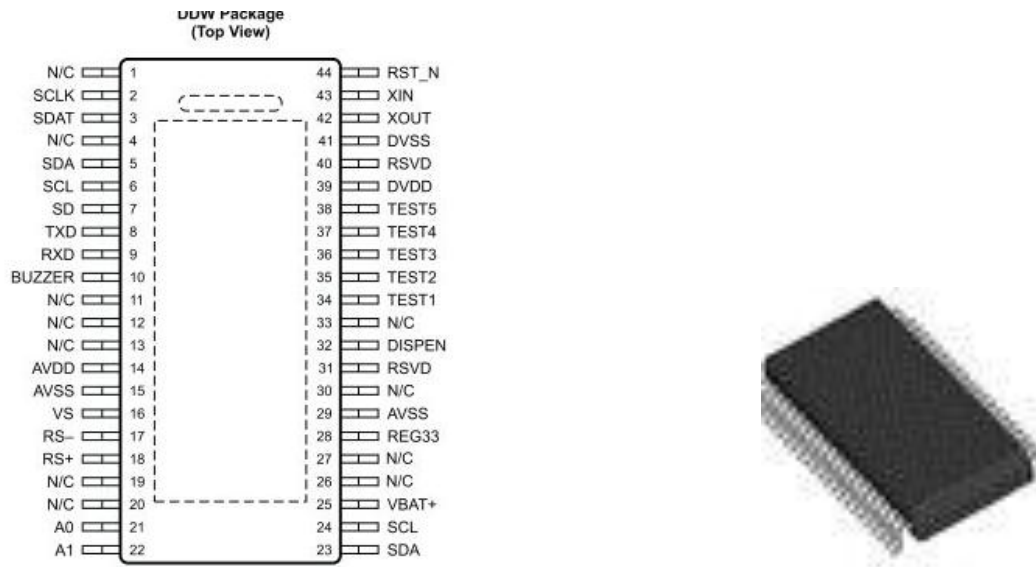


Figura 44 À esquerda, esquema dos pinos de ligação do integrado. À direita, o encapsulamento, HTSSOP-44.

Current sense, battery voltage, temperature, and time measurements

Este integrado faz a leitura da tensão da bateria e da corrente que por ela flui. Através do Método de *Coloumb Counting*, tanto em carga como em descarga da bateria, é possível calcular de forma bastante precisa o estado da carga e autonomia da bateria. Outra característica fundamental prende-se com armazenamento de informações nos seus registos sobre a bateria em que o utilizador pode aceder através de comunicação UART. Essas informações ficam registadas permanentemente até substituição da bateria, de forma a determinar a estado de saúde da mesma ao longo do tempo, informando anomalia que a bateria tenha como a necessidade de substituição da mesma.

O CI é dotado de um oscilador para gerar um *Clock* que por sua vez é utilizado para calcular tempos de carregamento e descarregamento, informações estas vitais para determinar o estado de saúde da bateria.

State of charge

O objetivo do bq78412 é estimar a capacidade e autonomia de baterias de Chumbo Ácido. Essas estimativas são determinadas através de um algoritmo *Counting Coulomb* com compensação da temperatura, uma vez que a temperatura faz variar o desempenho da bateria.

O método de contagem de *Coulomb* é o melhor método para acompanhar as mudanças rápidas do estado de carga da bateria. Baseia-se na integração da corrente que flui para dentro e para fora da bateria adaptando o seu SoC. A fórmula é utilizada para o cálculo SoC, onde $Q(t_0)$ é a carga inicial da bateria, α é o fator de eficiência, $i(t)$ é a corrente (positiva ou negativa) e C_n é a capacidade nominal da bateria.

$$SoC(t)[\%] = \left(\frac{Q(t_0) + \sum_{t=0}^{\infty} \alpha i(t)}{C_n} \right) \times 100 \quad (7)$$

O fator α descreve um efeito que é conhecido como a lei Peukert "s. Expressa a capacidade de uma bateria de chumbo-ácido, de acordo com a taxa à qual ela é descarregada. À medida que a taxa de descarga aumenta, a capacidade disponível da bateria diminui. Outro parâmetro que influencia a capacidade disponível é a temperatura. A temperaturas mais elevadas, a capacidade disponível é menor.

Atualização da capacidade da bateria com o tempo

O bq78412 tem 2 mecanismos para atualização da capacidade da bateria com o decorrer da idade da mesma. Tanto o Método *Learned Capacity* e o Método *Age-based capacity* operam de forma independente e ambos podem ser ativados e desativados separadamente. No entanto é aconselhado que ambos os métodos sejam ativados para uma melhor performance.

State of health

A indicação do SOH pode ser configurada através de ciclos de carga / descarga que ocorreram ou pela diminuição da capacidade de carga da bateria. Um ciclo completo refere-se a uma carga total seguido de uma descarga total da bateria. A diminuição da capacidade de carga da bateria pode ser obtida através dos 2 mecanismos de atualização da capacidade da bateria, descritos atrás.

O número de ciclos ou o FCC em que as indicações de AVISO e SUBSTITUIÇÃO se baseiam, são configuráveis. Os parâmetros usados para o SOH são:

- EOLCap;
- EOLCapWarn;
- LifeCycles;
- LifeCyclesWarn

As indicações de SUBSTITUIÇÃO e AVISO são ativadas quando um ou um dos 2 outros estados de SOH ocorrem. O funcionamento do CI não é afetado quando os indicadores de SOH são ativados.

Display

O bq78412 suporta um *display* em forma de gráfico de barras até 10 LED's. Durante a descarga, mostra o tempo restante da bateria para o C rate do momento, ou seja, autonomia instantânea. O tamanho do gráfico em barra pode ser configurado em DevConfig1[5:2] com o valor 10 por defeito. É possível ainda atribuir a cada LED um tempo representando uma parcela do número total de LED's que a barra é constituída, sendo que cada um é definido nos parâmetros DsplyConf1 até DsplyConf5. Exemplificando, se cada LED estiver definido como 30 minutos, o *display* suporta até 300 minutos ou 5 horas.

PARAMETER	BITS[15:8] ALLOCATION	BITS[7:0] ALLOCATION	BITS[15:8] ALLOCATION DEFAULT (MINUTES)	BITS[7:0] ALLOCATION DEFAULT (MINUTES)
DsplyConf1	Time in LED1	Time in LED0	30	30
DsplyConf2	Time in LED3	Time in LED2	30	30
DsplyConf3	Time in LED5	Time in LED4	30	30
DsplyConf4	Time in LED7	Time in LED6	30	30
DsplyConf5	Time in LED9	Time in LED8	30	30

Tabela 9 Configuração do parâmetro DsplyConf.

Já no carregamento, o *display* mostra a percentagem do SOC. Essa percentagem é baseada na capacidade da bateria. Tal como no descarregamento, o tamanho da barra e os LED's podem ser configurados. Desta forma, para uma barra com 10 LED's, cada LED representada 10% da capacidade da bateria.

PERCENT SoC	LED0	LED1	LED2	LED3	LED4	CHARGE LED	DIS CHARGE LED	FULL LED	GOOD LED	WARN LED	REPLACE LED
0-19	Off	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	Off
20-39	On	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	Off
40-59	On	On	Off	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	Off
60-79	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	Off
80-99	On	On	On	On	Off	On	Off	Off	On	Off	Off
100	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off
100 and Full Charge Detected	On	On	On	On	On	On	Off	On	On	Off	Off

Tabela 10 Exemplo de operação do gráfico de barras de 5 LED's durante a carga.

Este CI inclui ainda as seguintes indicações:

- Substituição
- Aviso
- Bom
- A carregar
- A descarregar
- Carregada

STATUS LED	INDICATION	DESCRIPTION
REPLACE	Battery state of health	Turned on when battery end-of-life condition is detected either when cycle count reaches the value of <i>LifeCycles</i> parameter or when full charge capacity(FCC) drops below the value in <i>EolCap</i> parameter
WARN		Turned on when cycle count reaches the value of <i>LifeCycleWarn</i> parameter or when full charge capacity(FCC) has dropped below the <i>EolCapWarn</i> level.
GOOD		On when no state of health condition detected.
CHARGE	Mode of operation	On when battery is charging.
DISCHARGE		On when battery is discharging.
FULL		On when qualified full charge condition is detected.

Tabela 11 LED's de indicação e quando são ativados.

Estados de operação

O qb78412 suporta 3 estados de operação:

Active – quando deteta que a bateria está a ser carregada ou descarregada através da comparação dos parâmetros $Current\ magnitude \geq TransToActive$, entra no modo *active state*, ativando o display com a informação de SOC ou autonomia.

Idle – o CI entra neste modo quando o parâmetro *Current magnitude* é menor ou igual que o parâmetro *Idletresh*. O *display* mostra o último valor aquando no modo *active*.

Sleep – se o integrado se mantiver no estado *Idle* por mais tempo que o definido no parâmetro *SleepTime*, este entra no modo *Sleep* e o *display* é desativado.

Em cada um dos estados, o integrado faz a leitura periodicamente da corrente, tensão, temperatura e regista o tempo decorrido. A interface de comunicação USART continua também ativa. Já o método *Coulomb Counting* é desativado nos modos *Idle* e *Sleep*.

Interface de Comunicação

O bq78412 está dotado de uma interface de comunicação UART. Esta interface fornece, em tempo real, os valores medidos pelo CI e acesso aos dados da bateria. Nesta interface pode-se usar RS-232, IrDA, RS-485 ou qualquer outro tipo de *transceiver* compatível com o formato *Non-return-to-zero* (NRZ) ou IrDA. Através do registo DevConfig1[13:12], é possível definir o tipo de formato, se NRZ ou IrDA.

Esta interface série opera sempre no modo *multi-drop*, sendo o endereço por defeito 0xFF. O endereço pode ser alterado no registo MultiDropAdr. Esta característica possibilita que um sistema tenha várias baterias e seus respectivos bq78412, podendo comunicar com eles a partir de um único ponto.

As comunicações com o integrado são feitas através de mensagens. O primeiro byte transmitido para o bq78412 é o endereço, sendo os seguintes a mensagem.

Alguns campos na configuração da interface são fixos, sendo eles:

- Baud rate definido para 9600 ou 1200 (parâmetro DevConfig1[11])
- Tamanho da mensagem: 8 bits
- Bits de paridade: Sem paridade
- 1 *stop bit*
- Sem controlo de Fluxo

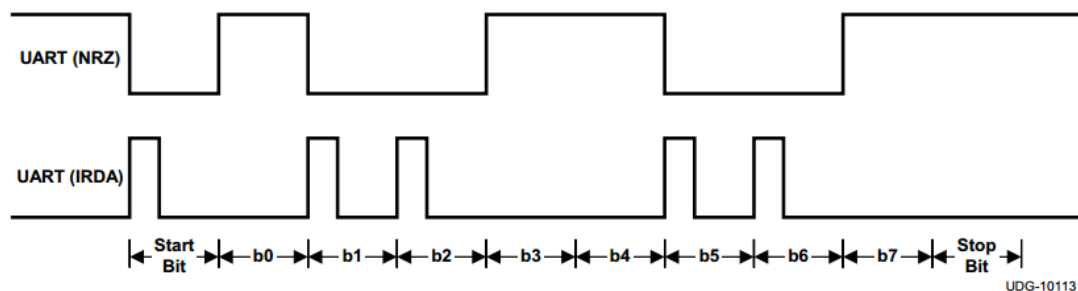


Figura 45 Codificação UART

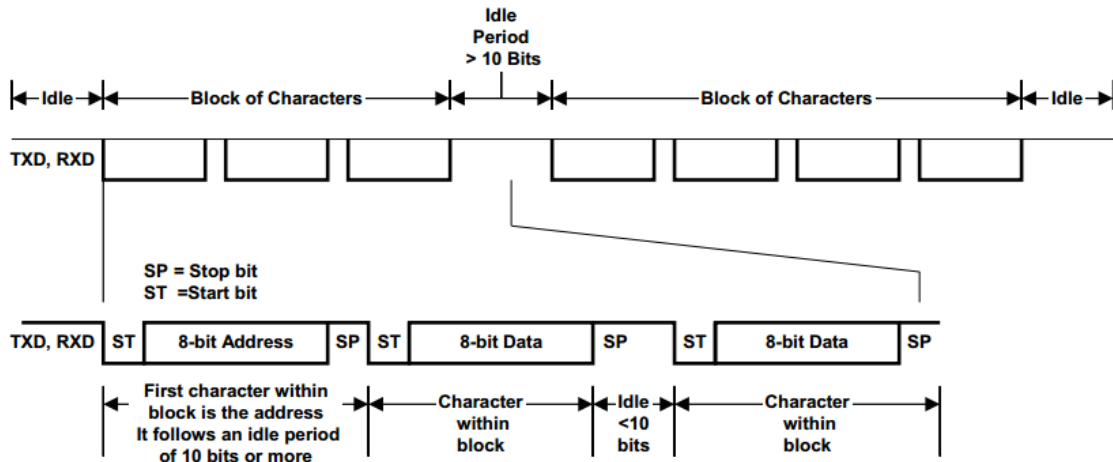


Figura 46 Operação *Multi-Drop*

Syntax dos comandos

Cada comando enviado para o bq78412 tem 7 *bytes* de comprimento como mostra a Figura 47.

Address	ID	Param0	Param1	Param2	Param3	Checksum
---------	----	--------	--------	--------	--------	----------

Figura 47 Formato do comando enviado para o bq78412

- *Address* – número hexadecimal para distinção dos diferentes bq78412 do sistema. Cada integrado tem um endereço.
- *ID* – número hexadecimal para distinção dos comandos.
- *Checksum* – é um XOR a todos os bytes, excluindo o *checksum*, incluindo o *ID*.
- A resposta a um comando por parte do bq78412 pode ser um ACK de *Acknowledge* com o seu endereço e a resposta aos dados pedidos. No caso de o comando ter sido recebido com sucesso mas não tiver implementado ou disponível para ser usado, a resposta é um NACK com o seu endereço.

ACK Response Code from bq78412 to host with data.

Address	ACK = "I"	Byte0	Byte1	...	Byte n-2	Byte n-1	Checksum
---------	-----------	-------	-------	-----	----------	----------	----------

NACK Response from bq78412 to host

Address	NACK = 0x15	Checksum
----------------	--------------------	-----------------

- A transmissão de qualquer tipo de pedido é seguido de um caracter de ACK.

ACK Response from bq78412 to host, no response data

Address	ACK = "!"	Checksum
----------------	------------------	-----------------

- O bq78412 não responde a um comando que não tenha o seu endereço ou que o *Checksum* seja invalido.

Status broadcast

O bq78412 tem implementado um sistema de *broadcast* automático de parâmetros da bateria. Quando o registo DevConfig1[0] = 1, o CI envia pra a UART os parâmetros que o utilizador definir. Desta forma, por exemplo, caso na UART esteja conectado um transmissor wireless, os parâmetros mais importantes do estado da bateria podem ser recebidos e visualizados num dispositivo remoto. O endereço do CI é incluído nas mensagens automáticas para identificação do bq78412, caso o sistema tenha mais que um bq78412. Se for recebido um comando, a transmissão automática é interrompida, iniciando no mínimo 60 segundos após ter sido transmitida a resposta ao comando.

STATUS	BYTE OFFSET ⁽¹⁾	BYTES	DESCRIPTION ⁽²⁾	UNITS
Device Address	0	1	Address of bq78412	
!"	1	1	Indicates ACK	
BatteryStatusWord	2	2	Battery status. See description in BatteryStatusWord section.	-
Temperature	4	2	Battery temperature	°C
BatteryVoltage	6	2	Battery voltage.	mV
Current	8	2	Battery current. Positive value = charge current, negative value = discharge current.	100 mA
RemCapDerated	10	2	Remaining battery capacity derated as function of discharge current.	100 mAh
FullChargeCapacity	12	2	Learned battery capacity at full charge, rated load.	100 mAh
RunTimetoEmpty	14	2	Run time to empty derated as a function of discharge current. Only valid during discharge.	Minutes
CycleCount	16	2	Number of full discharge cycles or equivalents.	
AverageCurrent	18	2	Battery current averaged based on <i>CurrentAvgTime</i> parameter.	100 mA
DeratedFCC	20	2	Derated Available Capacity	100 mAh
AccumulatedMissedCharge	22	2	Accumulated missed charge due to multiple discharges occurring before a full charge has occurred.	%
RelativeStateOfCharge	24	2	Battery relative state of charge.	%
Checksum	26	1	= 0xFF XOR byte 0 XOR byte 1XOR byte24 XOR byte25	

Tabela 12 Tabela com os estados que podem ser transmitidos em BroadCast.

No caso do estado *BatteryStatusWord*, o quadro seguinte mostra as opções prováveis para o estado.

STATUS BIT	BIT POSITION	DESCRIPTION
Full	0	1 = full ⁽¹⁾
Discharge	1	1 = discharging ⁽¹⁾
Charge	2	1 = charging ⁽¹⁾
Good	3	1 = battery good ⁽¹⁾
Warn	4	1 = battery warning ⁽¹⁾
Replace	5	1 = replace battery ⁽¹⁾
OverChgCurrent	6	1 = overcurrent on charge, charge current > <i>OccThresh</i>
OverDschgCurrent	7	1 = overcurrent on discharge, discharge current > <i>OcdThresh</i>
OverVoltage	8	1 = overcharge, battery voltage above <i>OvThresh</i>
OverTemp	9	1 = over temperature, battery temperature above <i>OtThresh</i>
UnderVoltage	10	1 = over discharge, battery voltage below <i>UvThresh</i>
UnderTemp	11	1 = under temperature, battery temperature below <i>UtThresh</i>
UnderCharged	12	1 = undercharged battery as defined by configuration of <i>MissChgLim</i> parameter. Indicates that the battery must be charged.
EOD	13	1 = end-of-discharge condition detected. Cleared when charge detected.
SealStatus[1,0]	14	[0,0] = Sealed level 0
	15	[0,1] = Sealed Level 1 [1,0] = Sealed Level 2

Tabela 13 Possíveis estados do parâmetro *BatteryStatusWord*

Registos e memória bq78412

O qb78412 mantém o estado de muitas variáveis de performance da bateria no seus registos internos. Estes registos são usados pelo próprio dispositivo para definir os limites de utilização da bateria. Estes registos podem ser acedidos a partir da interface UART, sendo registos de 16 bits e apenas de leitura.

ITEM	ADDRESS	BYTES	DATA TYPE	DESCRIPTION	UNITS
BatteryStatusWord	0x0000	2		Battery status. See description in BatteryStatusWord	–
Temperature	0x0002		S	Battery temperature	°C
BatteryVoltage	0x0004		U	Battery voltage	mV
Current	0x0006		S	Battery current. Positive value = charge current, Negative value = discharge current.	100 mA
RemCapDerated	0x0008		U	Remaining battery capacity derated as function of discharge current.	100 mAh
FullChargeCapacity(FCC)	0x000A		U	Learned battery capacity at full charge, rated load.	100 mAh
RunTimetoEmpty	0x000C		U	Run time to empty derated as a function of discharge current. Only valid during discharge.	minute
CycleCount	0x000E		U	Number of full discharge cycles or equivalents	
AverageCurrent	0x0010		S	Battery current averaged based on <i>CurrentAvgTime</i> parameter	100 mA
DeratedFCC	0x0012		U	Derated available capacity	100 mAh
AccumulatedMissedCharge	0x0014		U	Accumulated missed charge due to multiple discharges occurring before a full charge has occurred	%
RelativeStateOfCharge	0x0016		U	Battery relative state of charge	%

Tabela 14 Registos dos estados da bateria

Análise de Garantia

O qb78412 vem provido de um armazenamento interno para acumular informações sobre o funcionamento normal da bateria. Estas informações têm como propósito fazer uma análise ao funcionamento da bateria para questões de garantia da mesma. Inicialmente, estas informações são armazenadas numa memória volátil sendo depois copiadas para uma outra memória não volátil uma vez por dia para não se perderem no caso do dispositivo entrar em modo *sleep*. Eles voltam a ser rescritos na memória não volátil quando o dispositivo entra no modo *active*. Estes dados podem ser acedidas através da interface UART. A ativação desta funcionalidade é feita através do registo DevConfig1[10] =1.

CUMULATIVE DATA	ADDRESS	BYTES	DATA TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION	UNITS
OtCount	0x18	2	U	Time temperature was above <i>OtThresh</i>	6 minutes
UtCount	0x1A			Time temperature was below <i>UtThresh</i>	6 minutes
OvCount	0x1C			Time battery voltage exceeded <i>OvThresh</i>	6 minutes
UvCount	0x1E			Time battery voltage was below <i>UvThresh</i>	6 minutes
OccCount	0x20			Time charge current was above <i>OccThresh</i>	6 minutes
OcdCount	0x22			Time discharge current was above <i>OcdThresh</i>	6 minutes
DoD80Count	0x24			Instances DoD exceeded 80% at end of discharge	
DoD60Count	0x26			Instances DoD was between 61% and 80% at end of discharge	
DoD30Count	0x28			Instances DoD was between 31% and 60% at end of discharge	
DoD10Count	0x2A			Instances DoD was between 11% and 30% at end of discharge	16 counts
DoD0Count	0x2C			Instances DoD was between 1% and 10% at end of discharge	16 counts
DischargeAHCCount	0x2E			Cumulative AH out from battery	16 Ah
ChargeAHCCount	0x30			Cumulative AH in to battery	16 Ah
DischargeTime	0x32			Total time in discharge	6 minutes

Tabela 15 Tabela com os registos associados à análise de garantia

Contadores de abuso

Estes contadores contam o tempo em que a bateria esteve a operar fora das suas condições recomendadas. A cada 6 minutos, a bateria é analisada e caso seja detetado algum parâmetro fora dos limites, o contador específico incrementa.

Cada contador é de 2 bytes, podendo armazenar valores entre 0 e 65535, o que permite contar até 273 dias.

Os contadores de abuso são:

- OtCount
- UtCount
- OvCount
- UvCount
- OccCount
- OcdCount

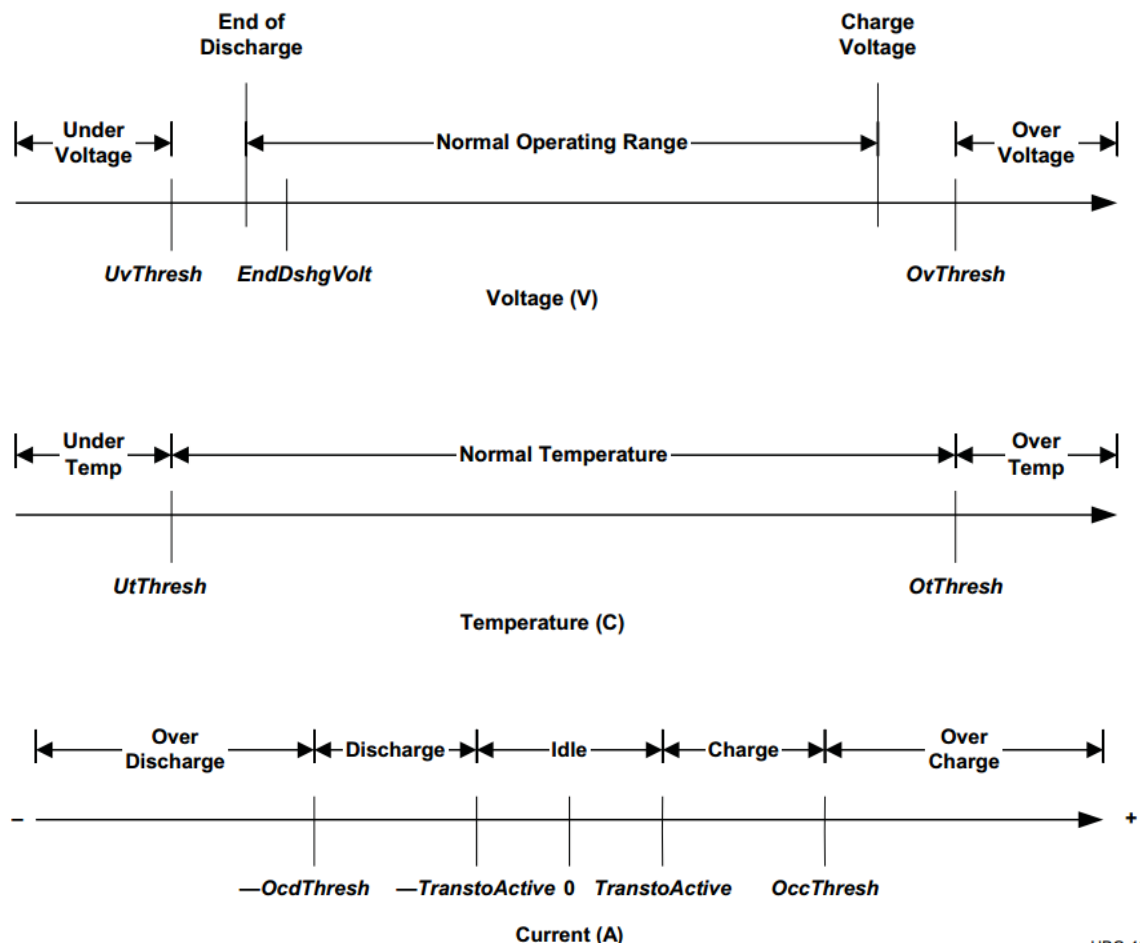


Figura 48 Contadores de abuso

Profundidade da descarga

Este contador é usado para gerar um histograma da profundidade da descarga alcançado no descarregamento da bateria. A cada transição de descarregamento para carregamento, um contador é incrementado baseado na profundidade da descarga ou *Deep of Charge* ou DoD, em que $DoD = 100\% - SoC$. Existem 5 contadores para a DoD, cada um identificando um patamar de profundidade:

- DoD80Count
- DoD60Count
- DoD30Count
- DoD10Count
- DoD0Count

Contador de Ciclos

Estes contadores contam a acumulação da quantidade de energia que a bateria carregou e descarregou. Estes registros são de 2 bytes e incrementam em passos de 16Ah, contando no máximo $65535 \times 16Ah$ ou 1.048.560Ah, o que equivale a mais de 3495 ciclos para uma bateria de 300Ah.

ChargeAH – Acumulação da energia que foi carregada em Ah

DischargeAH - Acumulação da energia que foi descarregada em Ah

Segurança

O bq78412 tem 3 níveis de segurança: nível 0, 1 e 2.

No nível de segurança 0, todos os dados e informações, registos e configurações podem ser acedidos e modificados pelo utilizador. No nível 1 apenas alguns parâmetros podem ser modificados como MultiDopAdr, installDate, ActivationDate, Activationindicator, MFGCodeSN e Level1Password. Alguns outros parâmetros podem ser lidos pelo utilizador. Já o nível 3 é o nível mais fechado, mais restrito. Nenhum parâmetro pode ser modificado. O Anexo A mostra tabela com todos os registos e parâmetros do bq78412.

3.4.3. PLACA PROCESSAMENTO

Esta placa será o cérebro de todo o BMS. Embora o bloco de carregamento e o bloco de monitorização sejam quase autónomos, é este bloco que irá permitir o funcionamento dos restantes blocos. É também responsável pelo interface que o utilizador do veículo tem para obter informações sobre o estado das baterias. Outra função importante prende-se com a segurança dos sistemas do veículo, tendo que quebrar as ligações de forma a isolar o banco de baterias e o BMS caso se detete algum tipo de problema.

Será este bloco a comunicar com o bq78412 para obter todas as informações referentes ao estado da bateria, assim como para configuração do mesmo.

Embora tenha tarefas importantes a executar, este bloco pode ser um simples *Arduino* que seja provido das funcionalidades necessárias para a sua função no BMS.

A solução passaria por um *Arduino* com Atmega88. Possui 23 i/o, 8kBytes de memória para programação, 512 Bytes de EEPROM, 1kByte SRAM, interface USART e baixo consumo.

3.4.4. PLACA DE LIGAÇÕES

Antes de iniciar, referir que o bloco alimentação não consta neste trabalho, sendo apresentado apenas como informação.

Como o sistema é constituído por vários blocos e várias ligações entre eles, a ideia desta placa é de organizar o sistema, evitando-se ligações entre blocos que tornaria o sistema algo confuso. E Como? Todos os blocos apenas se ligariam aqui. Por exemplo, tanto o carregador como o monitorizador partilham a bateria, pelo que a bateria iria ter pelo menos 3 ligações diferentes, o que se tornaria falível e confuso. A ideia é criar apenas uma ligação entre a bateria e a placa de ligações e, a partir daqui, tanto o carregador como o monitorizador teriam acesso à bateria.

Seria esta placa também que iria receber a alimentação para o carregamento das baterias e, no sentido inverso, o fornecimento de energia ao controlador. Outra questão importância nesta placa será a segurança. Como todas as ligações passam por esta placa, será aqui implementado o sistema de segurança caso exista algum problema em alguns dos sistemas do veículo, quebrando as ligações com o exterior, isolando o banco de baterias e o BMS.

Esta placa terá que ser alimentada pelo menos a 90V entre 15 e 20A, para 6 baterias.

3.4.5. ALGORITMO

De seguida é apresentado o algoritmo a ser implementado nesta placa, algoritmo que controla todo o BMS,

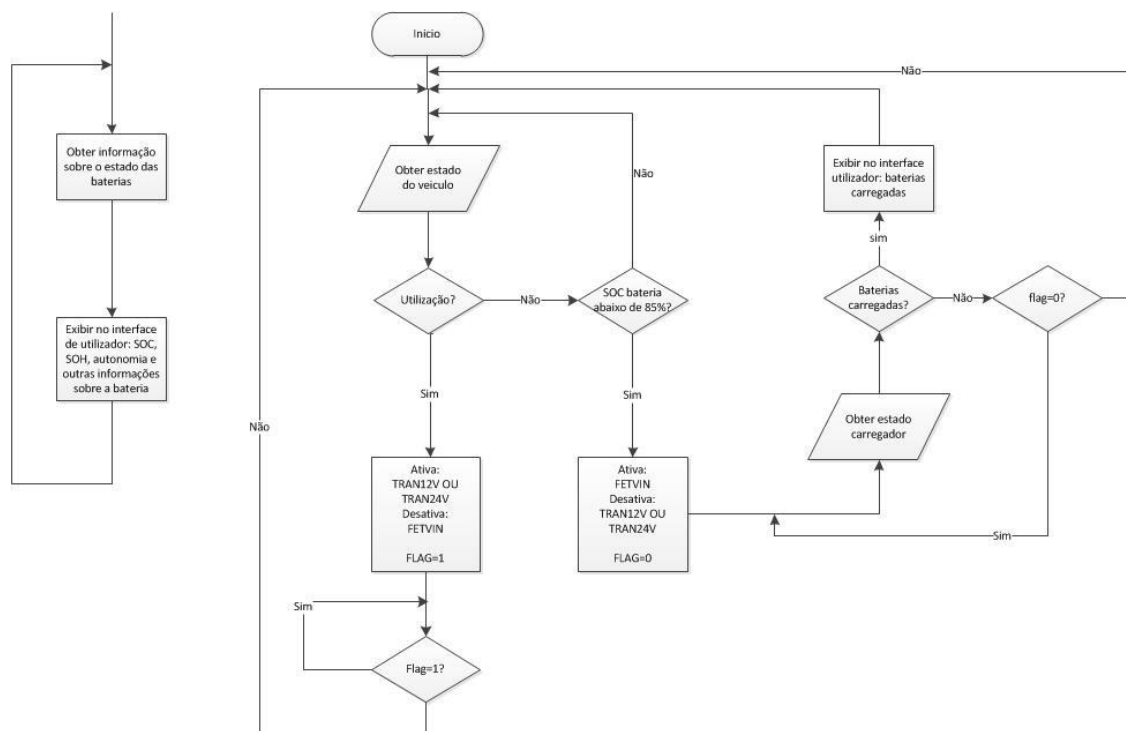


Figura 49 Algoritmo a implementar na Placa de Processamento

4. IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo serão implementadas as ideias descritas no projeto, nomeadamente os blocos de carregamento e monitorização, assim como a placa de ligações. Irão ser desenhados os esquemas elétricos assim como os Layouts para PCB.

Uma vez que a alimentação não faz parte do trabalho, não se irá integrar neste capítulo este bloco, pensando nele como um bloco externo.

Já o bloco de processamento será integrado neste capítulo mas sem entrar em pormenores de aspeto construtivo, uma vez que já é um sistema implementado e validado.

Uma vez que o ISEP não tem disponível a maioria dos materiais para a execução do projeto associado ao facto do custo de aquisição dos mesmos ser elevado, tornaram inviável e incomportável a implementação deste projeto.

4.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA

Antes de proceder à implementação das placas do sistema, será agora apresentado o esquema de ligação entre as mesmas, de forma a se perceber desde já o funcionamento de forma geral do sistema, assim como as diferentes ligações entre elas. É possível ver o esquema geral do BMS no 0.

Para simplificação, vai-se separar o sistema em 2 fases de funcionamento: carregamento e tração. Existe também um esquema apenas para a comunicação / controlo do sistema.

De notar que apenas estão esquematizadas 2 baterias, podendo ir, como já foi referido, até 6 baterias, tendo em atenção apenas à potência de entrada para alimentação do sistema. Cada carregador precisa de 15Vdc e 20A.

4.1.1. FASE DE CARREGAMENTO

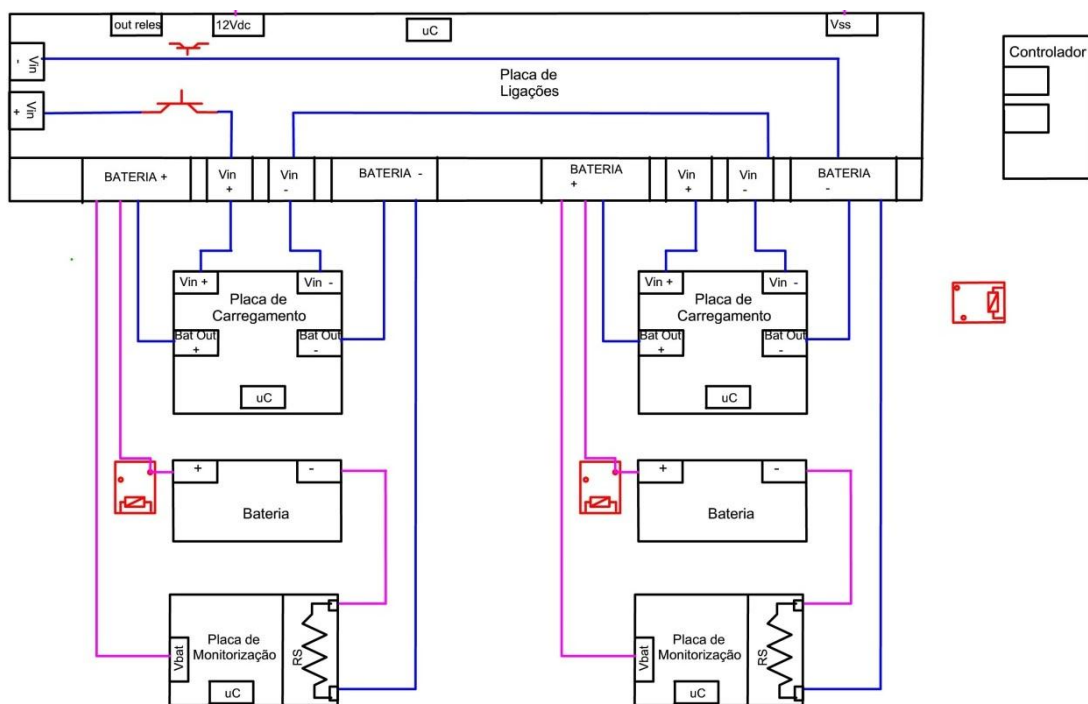


Figura 50 Esquema quando o sistema se encontra a carregar as baterias

Como se pode constatar no Figura 50, as baterias estão separadas umas das outras, sem qualquer tipo de ligação entre elas, uma vez nesta fase de carregamento, cada uma é carregada de forma independente, a partir da sua placa d carregamento.

A placa de monitorização está em série com a bateria devido à resistência R_S , de forma a fazer a leitura da corrente. Como as placas de carregamento e de monitorização precisam de acesso à bateria, esta iria ficar com vários cabos, o que não é seguro. Para isso, a bateria liga-se à placa de ligações, partilhando assim a ligação com as 2 placas.

Não existe também qualquer tipo de ligação com o controlador do motor, uma vez que os relés abriram as ligações.

4.1.2. FASE DE TRAÇÃO

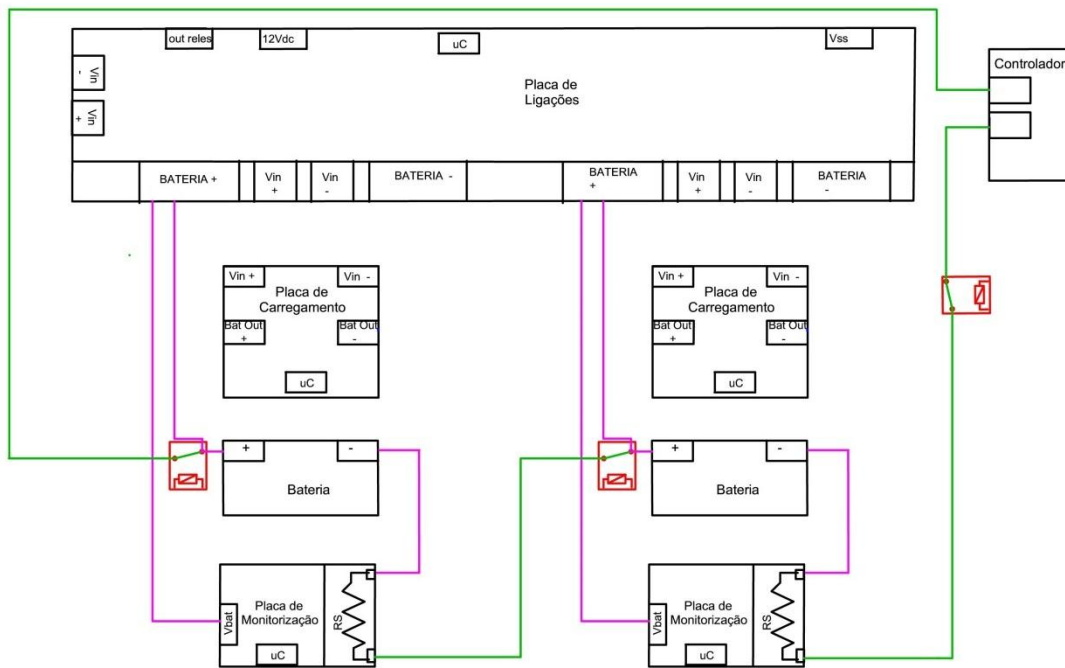


Figura 51 Esquema quando o sistema está pronto para tração

A Figura 51 mostra o esquema quando o sistema se encontra a fornecer energia para a tração do veículo. De notar que nesta fase, as baterias e as respetivas placas de monitorização estão agora em série. A placa de ligações não está alimentada neste momento uma vez que o FET na entrada está em aberto, impedindo a alimentação das placas de carregamento.

4.1.3. COMUNICAÇÃO / CONTROLO

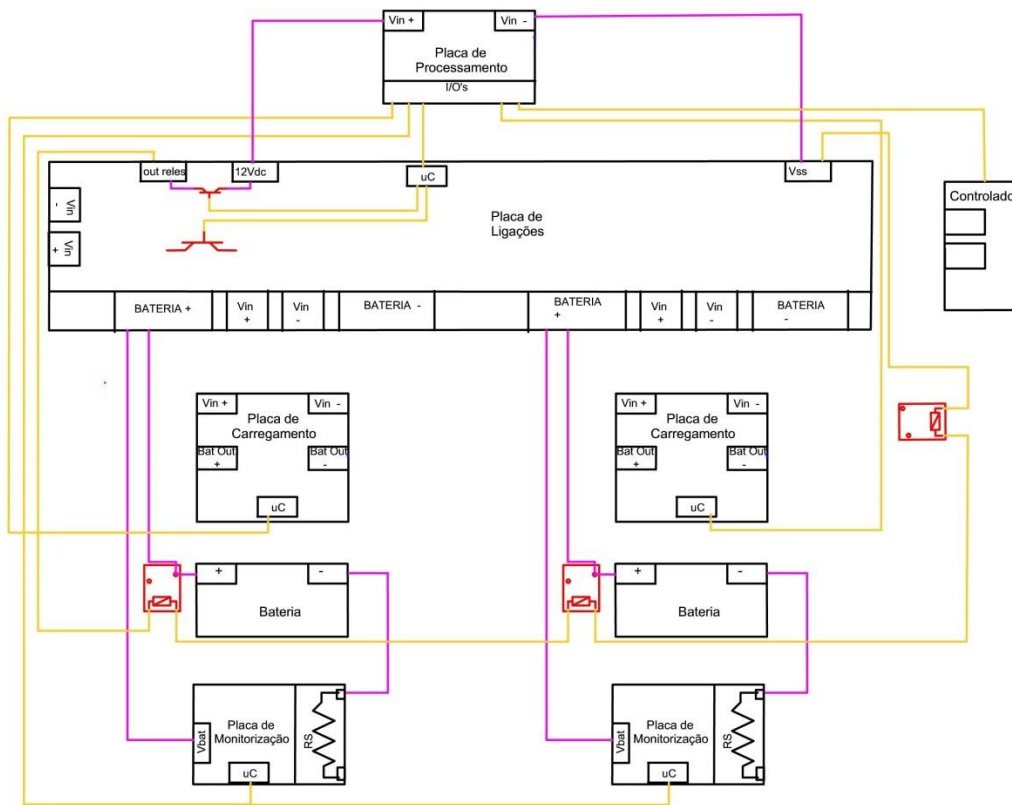


Figura 52 Esquema de comunicações do sistema

O sistema de comunicações prevê ligação entre todas as placas e a placa de processamento. De notar que cada placa de carregamento liga diretamente à placa de processamento enquanto que as placas de monitorização se encontram na mesma ligação. Esta funcionalidade vai ser explicada na secção da placa de monitorização.

Os reles são controlados indiretamente pela placa de processamento. Esta apenas impede a alimentação da bobine a partir da placa de ligações com recurso a um transístor.

De notar que as ligações a roxo são partilhadas por ambas as fases.

4.2. BLOCO CARREGAMENTO

Depois de projetado o bloco de carregamento, nesta fase irá ser implementado o esquema elétrico e respetivo *Layout* em PCB da placa. De referir que o desenho em PCB foi realizado com recurso ao *software Eagle*.

4.2.1. ESQUEMA ELÉTRICO

Como referido no capítulo anterior, este integrado mede correntes e tensões. O sensor de corrente conecta-se nos pinos CS- e CS+, sendo que o sensor de tensão liga-se, em conjunto, aos pinos OVCTAP e CHGENB. Para leitura da temperatura, o integrado tem incorporado uma entrada para ligação de um termístor, o RTHM. Está configurado para um termístor de 10k Ω , que deve ser colocado o mais próximo da bateria possível. A Figura 53 mostra o circuito do UC3909.

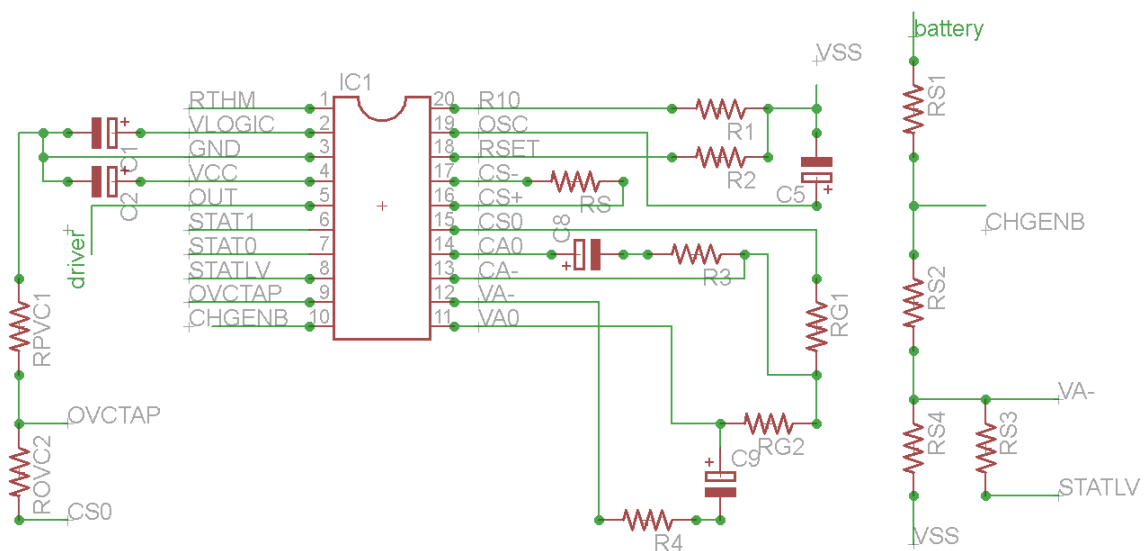


Figura 53 Esquema Elétrico Sistema de Carregamento

STAT0 e STAT1 são saídas para identificação do estágio em que o carregador se encontra. VLOGIC é uma saída lógica a 5V, independentemente da tensão de entrada no integrado.

Irá ser através da resistência R_s que o integrado calculará a corrente que a bateria debita. Ele medirá a corrente entre o polo negativo da bateria e a massa. A resistência está ligada aos pinos CS+ e CS-.

O pino CHGENB está ligado diretamente a um comparador interno que detetará quando a tensão da bateria se encontra baixa, iniciando o carregamento da bateria através do estágio *trickle charge*.

O pino OUT é uma saída PWM para controlar o MOSFET do driver, que irá ser mostrado mais à frente.

O sub-circuito do driver é desenhado à volta do componente principal, o *Mosfet* Canal P, atuando como um *switch*. Através do par de transístores (T1 e T2), a gate do *Mosfet* alterna entre GND e a alimentação. A regular a tensão para o par de transístores, está um diódo *Zener* que por sua vez tem um diódo normal para evitar que o *Zener* funcione como um diódo normal. Este pequeno circuito é vendido à parte como um *Mosfet Driver*.

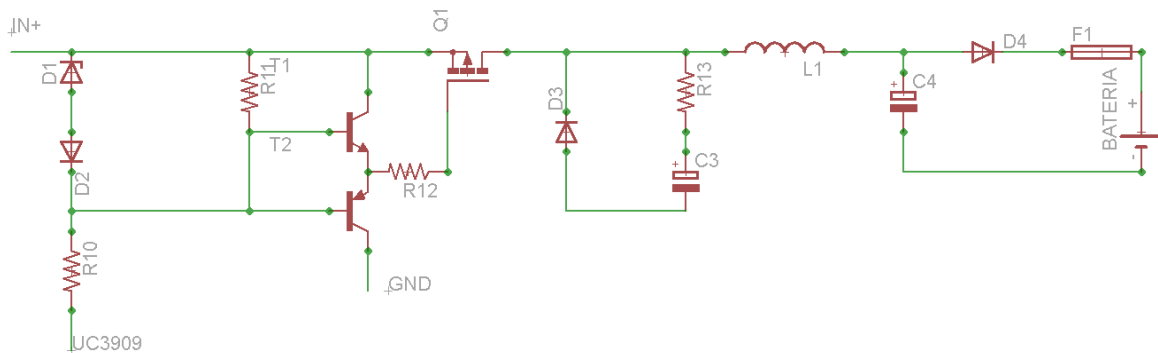


Figura 54 Circuito do driver

Depois do *Mosfet*, está um *buck converter*. Quando o *Mosfet* permite a passagem de energia, a tensão no nó acima de D3 é igual á tensão de entrada. Quando impede a passagem de energia, a corrente vindo do indutor força D3 a conduzir e faz com que nesse nó a tensão seja muito próxima de 0. O resultado nesse nó é de uma onda de alta frequência como mostra a Figura 55. O indutor L1 e o condensador C4 formam um filtro passa baixo, que irá recapturar o valor médio dessa onda. Será esse valor médio que carregará a bateria.

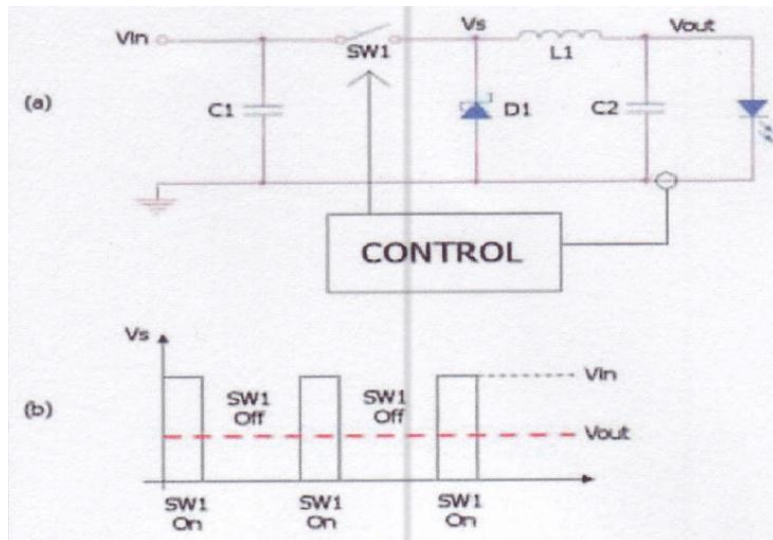


Figura 55 Buck Converter b) Forma de onda resultante pela passagem e bloqueamento do Mosfet

Para a indicação do estado do carregamento através dos pinos STAT0 e STAT1, terá que se usar um *demultiplexer* como o CD45556 de modo a controlar os 4 led's de acordo com a Tabela 8. Destes pinos saem também a informação do estado do carregamento para a Placa de Processamento.

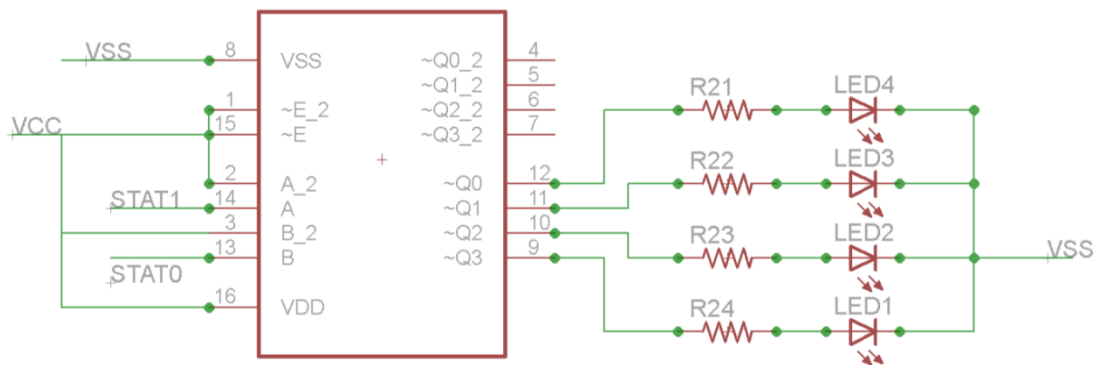


Figura 56 Esquema para indicação do estado do carregamento

Como foi referido atrás, a corrente máxima de carregamento da bateria é de 15A, pelo que este circuito foi dimensionado para tal. Como medida de proteção extra, foi adicionado um fusível de modo a interromper a ligação à bateria caso haja algum tipo de curto-circuito.

4.2.2. DIMENSIONAMENTO

As fórmulas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 irão aqui ser resolvidas de acordo com o dimensionamento da placa. Realçar que a maior parte dos valores dos componentes serão calculados através destas fórmulas.

$$I_{trickle\ Charge} = \frac{C}{100} = \frac{74}{100} = 740mA$$

- $I_{trick_{control}} = \frac{0.115}{R_{set}} = \frac{0.115}{21.5k\Omega} = 5\mu A$
- $I_{tc} = \frac{I_{trick_{control}} \times RG1}{R_s \times 5} \Leftrightarrow RG1 = \frac{740mA \times R_s \times 5}{I_{trick_{control}}} \Leftrightarrow RG1 = \frac{740mA \times 20m\Omega \times 5}{5\mu A} \Leftrightarrow$
 $RG1 = 14.8k\Omega$

$$I_{bulk\ charge} = \frac{C}{5} = \frac{74}{5} = 14.8A$$

- $\frac{RG1}{RG2} = \frac{5 \times V_{rs}}{V_{LOGIC-CA-}} = \frac{5 \times V_{rs}}{5V-2.3V} = \frac{5 \times V_{rs}}{2.7V} = 1.852 \times I_{bulk} \times R_s \Leftrightarrow \frac{RG1}{RG2} =$
 $1.852 \times 14.8 \times 20m\Omega \Leftrightarrow \frac{RG1}{RG2} = 0.548$
- $\frac{RG1}{RG2} = 0.548 \Leftrightarrow \frac{14.8k\Omega}{0.548} = RG2 \Leftrightarrow RG2 = 27k\Omega$

$$V_{float} = 13.8V$$

- $V_f = (V_{ref}) \times \frac{(RS1+RS2+RS3)}{RS3} \Leftrightarrow RS1 + RS2 = \frac{V_f \times RS3}{5} - RS3 \Leftrightarrow RS1 +$
 $RS2 = \frac{13.8 \times 10k\Omega}{5} - 10k\Omega \Leftrightarrow RS1 + RS2 = 17.6k\Omega$

$$V_{oc} = 14.8V$$

- $V_{oc} = V_{ref} \times \frac{(RS1+RS2+RS3 // RS4)}{(RS3 // RS4)} \Leftrightarrow RS3 // RS4 = \frac{5(RS1+RS2)}{V_{oc}} + 1 \Leftrightarrow$
 $RS3 // RS4 = 5 \times \frac{17.6k\Omega}{14.8} + 1 \Leftrightarrow RS3 // RS4 = 2.2k\Omega$

$I_{oct} = 10\%$ de I_{bulk}

- $R_{ovc1} = (1.8518) \times I_{oct} \times R_S \times R_{ovc2} \Leftrightarrow R_{ovc1} = 1.8158 \times 1.48A \times 20m\Omega \times 100k\Omega \Leftrightarrow R_{ovc1} = 5.4k\Omega$

$V_{chgenb} = 2.3V$

- $V_{chgenb} = 2.3 \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}{R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}} \Leftrightarrow R_{S2} = 2.3 \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}{V_{chgenb}} - R_{S3} // R_{S4} \Leftrightarrow R_{S2} = 2.3 \times \frac{17.6 + 2.2}{2.3} - 2.2 \Leftrightarrow R_{S2} = 13.2k\Omega$

4.2.3. LAYOUT EM PCB

A Figura 58 mostra o *Layout* em PCB da Placa de Carregamento. De notar que a placa contém algumas alterações em relação ao esquema elétrico devido ao valor da corrente elevado que irá percorrer em alguns componentes, pondo em causa a segurança da placa. A solução foi passar para o exterior da placa esses componentes, mas com ligação à placa, como se pode ver na Figura 57.

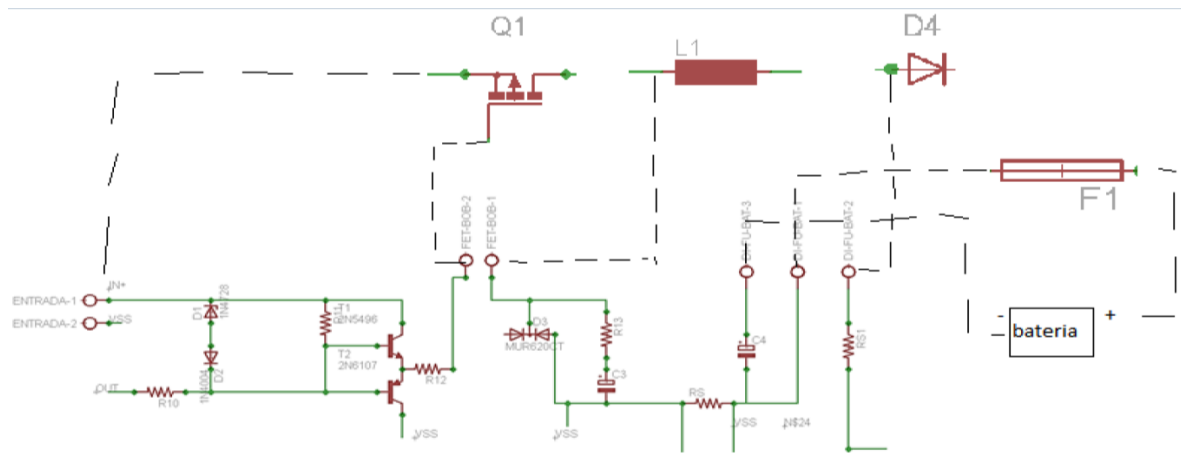


Figura 57 Alterações no circuito do Driver em relação à Figura 54

Os componentes são o *FET*, a bobine, o diódo D4 e o fusível. O fusível está também no exterior para ser facilmente acessível caso seja necessário. Devido ao elevado calor que o *FET* e o diódo D4 podem gerar é crucial que estes estejam ligados a um dissipador de calor.

A placa inclui saída para a bateria e entrada para alimentação. Um conector para ligação à Placa de Processamento está também presente para informar o estado do carregamento da bateria.

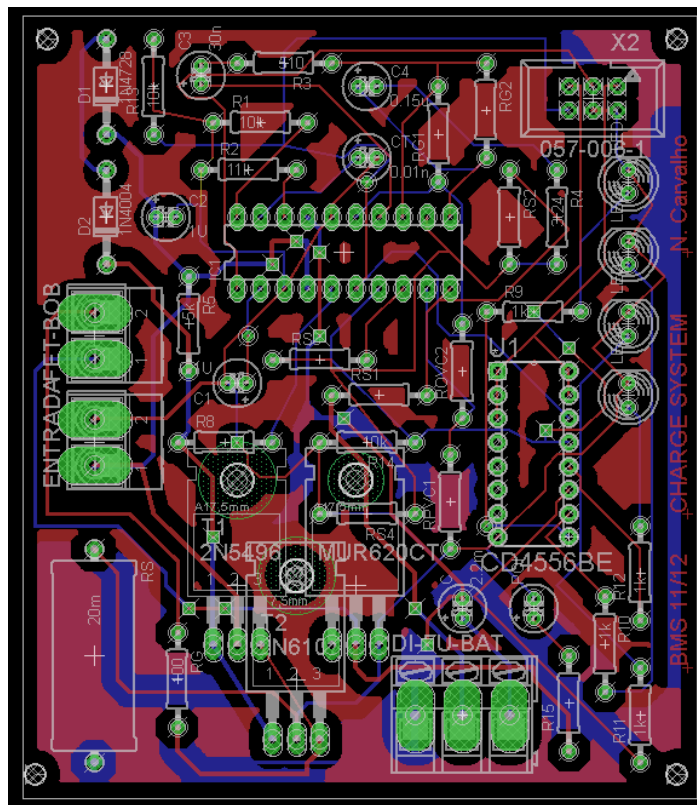


Figura 58 Layout em PCB da Placa de Carregamento

4.3. PLACA DE MONITORIZAÇÃO

Apesar do bq78412 ser um pouco complexo devido às muitas funcionalidades que tem implementado, a sua implementação na placa é simples, com poucos elementos construtivos, não encarecendo demasiado esta Placa.

4.3.1. ESQUEMA ELÉTRICO

Tal como a Placa de Carregamento, o bq78412 faz também leitura da corrente e tensão a circular na bateria.

O bq78412 mede a corrente através de uma resistência R_s (entre 1 e $3m\Omega$) inserida no caminho negativo do circuito. O valor de resistência serve de escala para obter a diferença de potencial entre os pinos $RS+$ e $RS-$ que é usada para calcular o valor da corrente.

Já a tensão aos terminais da bateria é medida entre os pinos VS e $AVSS$ do integrado. Em relação à temperatura, o bq78412 tem incorporado um sensor de temperatura, pelo que assume-se que a temperatura ambiente onde o CI está inserido é igual à temperatura ambiente onde a bateria está inserida.

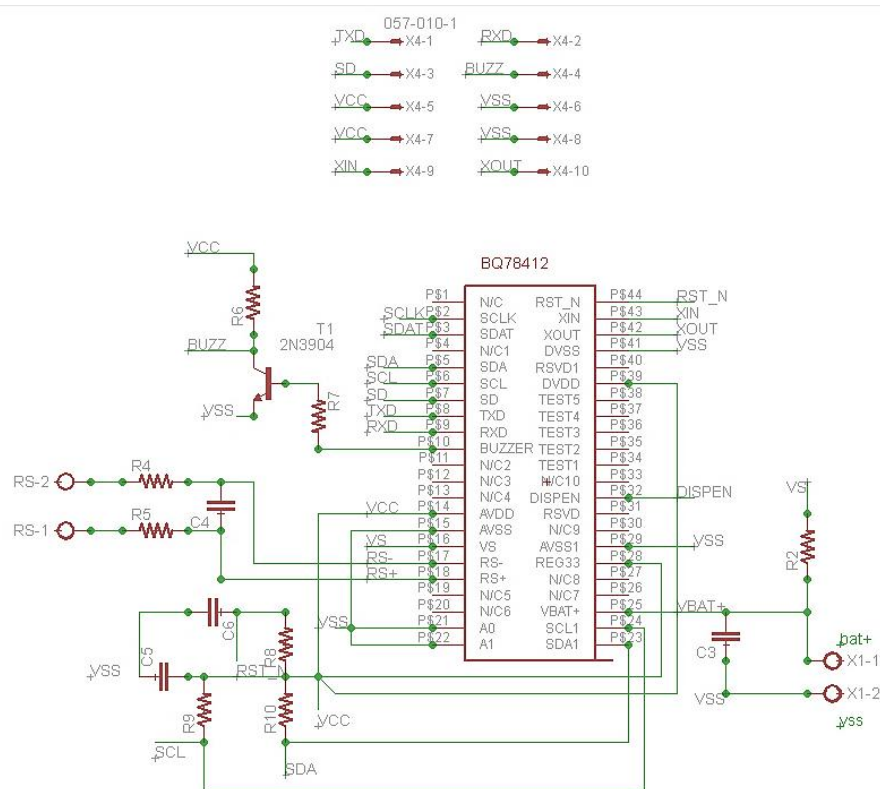


Figura 59 Pormenor do esquema elétrico ao redor do bq78412

As indicações no display de barras são obtidas com recurso a 2 *shift registers* externos. As entradas do primeiro *shift register* recebem a informação do pino SDAT do bq78412, enviando os dados por comunicação série.

O *clock* que vai permitir o funcionamento dos *shift registers* é também fornecido pelo mesmo CI, através do pino SCLK, como se pode ver na Figura 60.

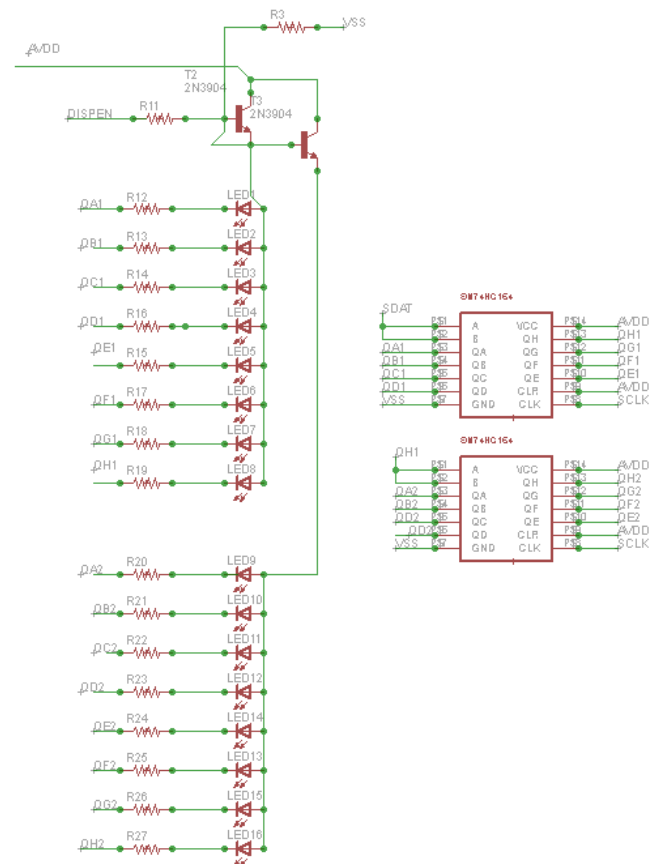


Figura 60 Esquema para implementação do gráfico de barras com 10 LED's

4.3.2. LAYOUT EM PCB

O Layout foi concebido através do Software Eagle.

A Placa tem um conector para flat cable para troca de informações com a Placa de Processamento. Inclui ainda entrada para obter a tensão aos terminais da bateria, assim como ligação à massa.

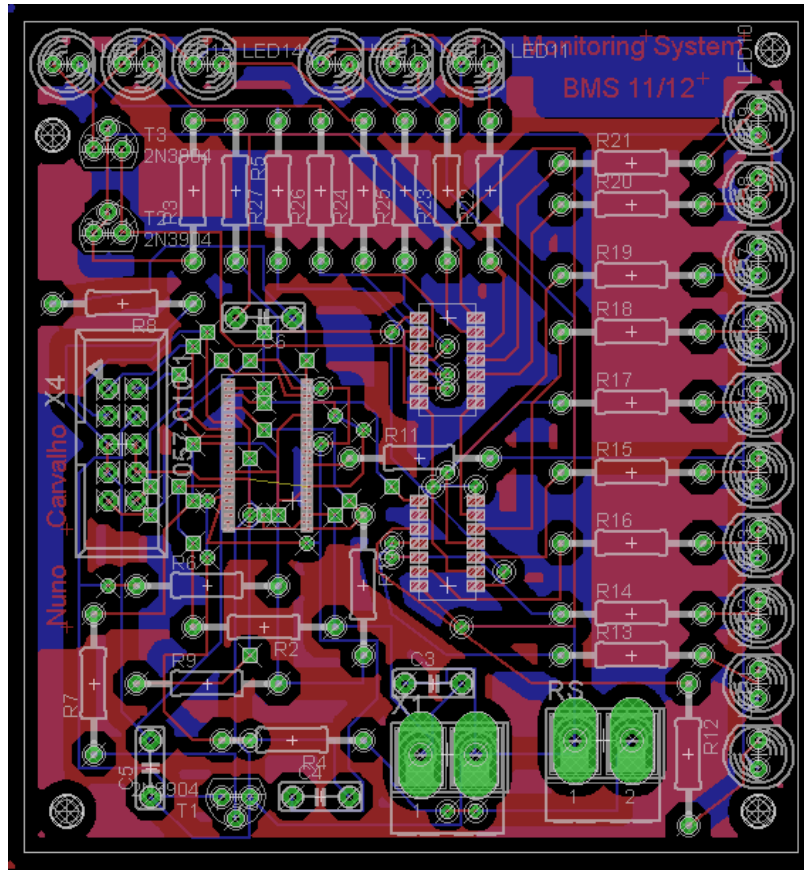


Figura 61 Layout em PCB da Placa de Monitorização

Por questões de segurança, a resistência RS terá que ser externa à placa devido às altas correntes que irão passar pela bateria. O valor da corrente pode chegar aos 120A, pelo que a potência da resistência, pela fórmula $P=R \times I^2$, para um valor de resistência de $0.5\text{m}\Omega$, é de 8W. Na placa existe um conector para ligar esta resistência.



Figura 62 Resistência de $0.5\text{m}\Omega$ de 8W.

4.4. PLACA DE PROCESSAMENTO

Pode ser considerado o cérebro do sistema já que é nesta placa que se encontra o microcontrolador. Todas as restantes placas se ligam a esta para enviar/receber as informações necessárias sobre o estado do sistema.

Em 2010, no âmbito da cadeira LABSIS da Licenciatura Eletrotécnica e de Computadores, foi desenvolvido por mim um pequeno *Arduino* tendo como uC um Atmega88 da Atmel. Como foi escrito no capítulo anterior, este uC tem as características mínimas necessárias para desempenhar o papel de processamento do BMS pelo que, irá ser utilizado como Placa de Processamento para este trabalho.

4.4.1. CARACTERÍSTICAS

Esta placa tem ela própria um regulador de 5V que, juntamente com 4 condensadores de acoplamento protegem o microcontrolador. Quando a placa é alimentada, um led vermelho acende.

A entrada do AREF, ou seja, a tensão de referência com que o A/D do uC compara os valores nas entradas analógicas, pode ser regulada através de um pequeno potenciômetro na própria placa.

Nos conetores de i/o dos portos B e D, que estão em flat cable, além de terem os pinos referentes às estradas/saídas do uC, incorporam também alimentação em 5Vdc.

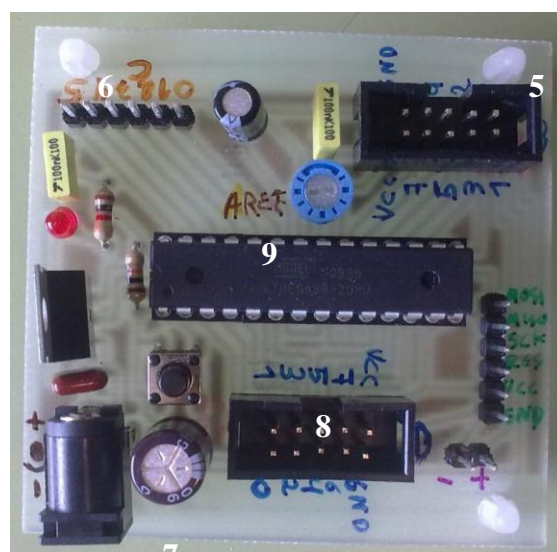


Figura 63 Arduino desenvolvido no âmbito da cadeira LABSIS

1. Entrada DC
2. Porto D em flat cable
3. Saída a 5Vdc
4. Programação da placa
5. Porto B em flat cable
6. Porto C em *pinheads*
7. Botão *reset*
8. Atmega88
9. Potenciômetro para regulação do AREF

4.4.2. LAYOUT EM PCB

A complexidade da placa é baixa pelo que foi desenhada em apenas uma camada. É possível ver o plano de massa com boa separação das pistas do circuito. Realçar que a placa foi desenvolvida através do *Software* de desenho *Eagle*, tendo sido executada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica.

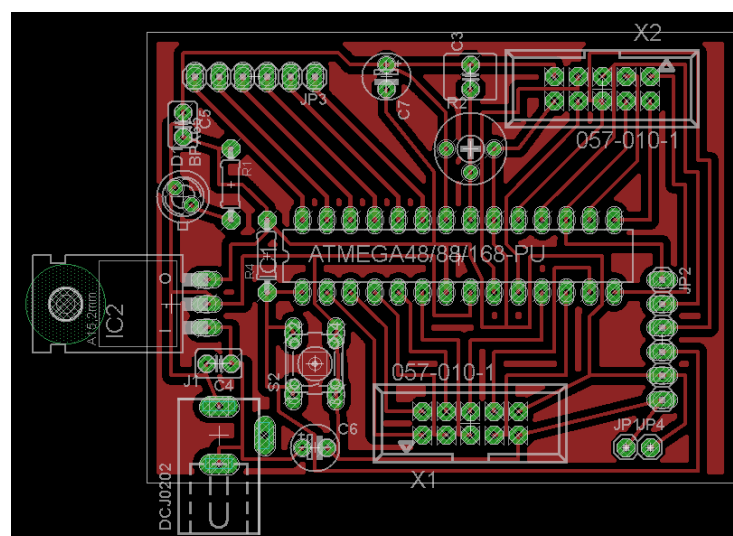


Figura 64 Layout em PCB da Placa de Processamento

4.5. PLACA DE LIGAÇÕES

Esta será a Placa Central do sistema. Como foi dito no capítulo anterior, esta Placa vem facilitar as ligações entre as placas que, sendo muitas, tornava este sistema algo complexo de se montar sem uma placa central. A ideia no geral funciona, no entanto, existem ligações que não poderão passar por esta placa devido ao valor da corrente que irá circular. Para isso, cabos especiais irão ser introduzidos ao sistema, que irão ser explicados em pormenor mais á frente.

O esquema elétrico encontra-se no 0.

De forma a dimensionar corretamente a largura das pistas da placa, recorreu-se ao *software* Saturn PCB Design. É um software que segue as normas IPC-2152 — *Standard for Determining Current-carrying Capacity in Printed Board Design*, da *Association Connecting Electronics Industries*.

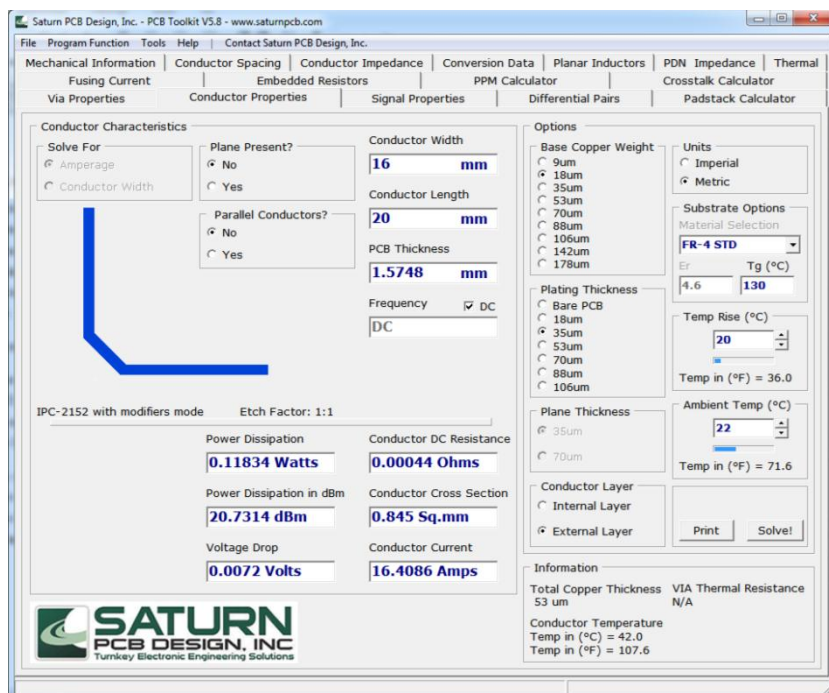


Figura 65 Determinação da largura das pistas por parte do software Saturn PCB Design.

A Figura 65 mostra a seção *conductor properties* para determinar a largura da pista de acordo com parâmetros como a corrente, o aumento de temperatura, o comprimento da pista, entre outros. Para 15A (valor para carregamento das baterias), a largura da pista seria cerca de 16mm, com alguma margem de segurança.

No entanto, é quase inconcebível implementar uma placa com esse tamanho de pistas pelo que, as pistas terão 2,5mm de largura e depois serão estanhadas juntamente com um fio de cobre de 2,5mm de secção.

A placa inclui um conector para flat cable para ligação á placa de processamento. O carregador liga-se diretamente a esta placa, tanto para alimentação da mesma como as saídas para carregar a bateria, intituladas ALCARR e CARRBAT respetivamente. Inclui também ligação para os terminais da bateria. Como o sistema suporta até 6 baterias, existem 6 conjuntos iguais, numerados de 1 a 6.

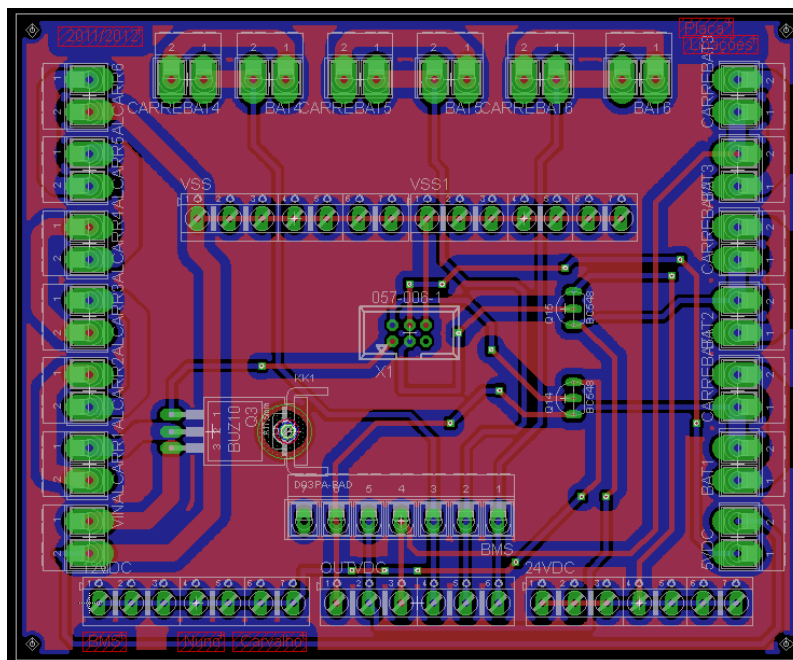


Figura 66 Layout em PCB da Placa de Ligações.

Como funcionalidades extra, a placa inclui ainda saídas a 12, 24, 36, 48, 60 e 72 Vdc que são obtidos a partir de cada uma das baterias. Inclui ainda saída a 5Vdc, obtidos da placa de processamento.

Como já foi falado, o sistema vai ter cabos de ligações especiais, que incluem relés. Esses relés serão alimentados a partir desta placa também, podendo ser de 12Vdc ou 24Vdc, mais precisamente 7 saídas de cada. A ativar / desativar estes 2 conjuntos de saídas estão 2 transístores controlados pela placa de processamento. A complementar, existem também 12 conetores para ligação à massa.

Esta placa inclui ainda ligação para a placa de monitorização para leitura da tensão aos terminais da bateria por parte dessa placa.

Logo depois do conector de alimentação da placa, encontra-se um FET para proteção de toda a placa, sendo controlado pela placa de processamento, para ativar/desativar a alimentação para os carregadores.

4.6. CABOS DE LIGAÇÃO

Os cabos de ligação surgiram devido ao problema da potência que irá circular no sistema, nomeadamente entre baterias, controlador e a resistência RS da Placa de Monitorização, podendo chegar a valores perto de 8kW. É, por isso, quase fisicamente impossível fazer passar toda esta potência pela placa de ligação, sendo preferível, por segurança, executar estas ligações externamente.

Os cabos sofreriam uma pequena adaptação física. Numa das extremidades terá um rele de forma a comutar a circulação de energia no sistema.



Figura 67 Rele de alta corrente

Foi escolhido o relé em vez de módulo IGBT uma vez que o sistema vai permitir regeneração de energia pelo que, nestes instantes, a circulação da energia irá ser invertida, o que não é compatível com os IGBT's. Uma ideia seria adicionar um módulo para cada sentido, no entanto isso iria encarecer em muito o sistema. A grande vantagem no uso de módulos IGBT's é a sua elevada eficiência relativamente ao relé.



Figura 68 Módulo IGBT para altas correntes

A seção dos cabos para correntes até 150A e 5m de comprimentos no máximo é de $21,20\text{mm}^2$.

4.7. ORÇAMENTO

Uma questão importante é o custo deste sistema, pelo que de seguida vai ser feito o orçamento do material necessário para a sua implementação. Os preços foram consultados através no site de venda de produtos eletrónicos *farnell*.

4.7.1. PLACA DE CARREGAMENTO

NOME	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO €	TOTAL €
Resistências e Condensadores		5.5	5.5
D 1N4004	1	0.10	0.10
D 15A	2	1.50	3
MOSFET Pchan 15A	1	2	2
L 1mH	1	15	15
T PNP	1	0.5	0.5
T NPN	1	0.5	0.5
UC3909	1	6.86	6.86
CD4556	1	0.35	0.35
Terminais e conetores	4	0.50	2
LED	4	0.20	0.80
Fabrico da PCB	1	14	14
TOTAL			50.61

Tabela 16 Tabela custo Placa de Carregamento

Sabendo que são 6 placas de carregamento, ficaria por 303€66. Notar que o preço de fabrico indicado é para uma encomenda de 6 unidades.

4.7.2. PLACA DE PROCESSAMENTO

NOME	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO €	TOTAL €
Resistências e Condensadores		2	2
Micro Switch PCB	1	0.30	0.30
Potenciómetro PCB	1	0.5	0.5
Atmega88	1	4.42	4.42
LM7805	1	0.43	0.43
Conectores e terminais	5	0.50	2.5
LED	1	0.20	0.2
Fabrico da PCB	1	16	37
TOTAL			47.35

Tabela 17 Tabela de custo da Placa de Processamento

Sendo apenas a encomenda para fabrico da PCB de uma unidade, o preço sobe para valores proibitivos pelo que compensa adquirir um *Arduino* que pode ficar por metade do preço.

4.7.3. PLACA DE MONITORIZAÇÃO

NOME	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO €	TOTAL €
Resistências e Condensadores		2	2
T NPN	1	0.5	0.5
BQ78412	1	7.50	7.50
SN74HC164	2	0.54	1.08
Conectores e terminais	3	0.50	1.5
LED	16	0.20	3.2
Fabrico da PCB	1	16	16
TOTAL			31.78

Tabela 18 Tabela de custo da Placa de Monitorização

Para 6 Placas de Monitorização, o valor seria 190€68. Notar que o preço de fabrico indicado é para uma encomenda de 6 unidades.

4.7.4. PLACA DE LIGAÇÕES

NOME	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO €	TOTAL €
T PNP	2	0.5	1
Conectores e Terminais	27	0.50	13.5
MOSFET Pchan	1	2	2
Fabrico da PCB	1	52	52
TOTAL			68.5

Tabela 19 Tabela de custo da Placa de Ligações

Para uma Placa de Monitorização, o valor seria 68€50. Notar que o preço de fabrico indicado é para uma encomenda de 1 unidade pelo que o preço de fabrico aumenta bastante.

4.7.5. PREÇO CUSTO TOTAL BMS

NOME	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO €	TOTAL €
Placa de Carregamento	6	50.61	303.66
Placa de Monitorização	6	31.78	190.68
Placa de Ligações	1	68.50	68.50
Placa de Processamento	1	25	25
TOTAL			587.84

Tabela 20 Tabela de custo do Battery Management System

Salientar que este é o preço para apenas um protótipo. Em grandes quantidades, o preço diminui bastante. Os preços de fabrico das placas PCB foram orçamentados a partir do site da *eurocircuits*.

5. CONCLUSÃO

Sem sombra de dúvidas que os automóveis movidos a energia elétrica, sejam eles puros ou híbridos, são o próximo passo na mobilidade a médio prazo. Para já, é uma área ainda em crescimento, e o BMS faz parte desse crescimento, muito devido a ser um aliado fundamental para aumentar a autonomia dos veículos, uma vez ser esse o calcanhar de Aquiles. Para já, um veículo elétrico puro não substitui para já um veículo de combustão interna devido à baixa autonomia que os modelos atuais apresentam. Apenas em alguns casos como percursos citadinos, o elétrico pode ser já uma alternativa. Os híbridos são a escolha mais acertada neste momento, uma vez que não há o receio de se ficar pelo caminho. O Opel Ampera é o mais evoluído e avançado, sendo aquele que apresenta maior autonomia mesmo circulando como um puro elétrico poluindo menos. A desvantagem é o preço, mais elevado do que a maioria dos híbridos.

Apesar do BMS já ser um conceito que existe há bastante tempo, com o surgimento das UPS e aparelhos portáteis, estes sistemas tiveram que se reinventar para lidar com a potência nos veículos elétricos. O objetivo deste trabalho não era inventar um BMS para veículos elétricos, uma vez que já quase todas as marcas automóveis investiram grandes

quantidades de dinheiro na pesquisa e desenvolvimento destes sistemas. O objetivo é desenvolver um BMS para integrar num veículo usado convertido a veículo elétrico. E porque? Sendo os veículos elétricos pouco credíveis para utilização como primeiro carro e ainda dispendiosos para segundo carro, converter um veículo de combustão interna usado com a mecânica em boas condições num puro elétrico, pode ser uma solução para quem procura veículos elétricos mas quer comprar um novo. Outra oportunidade para a conversão pode ser o facto de o motor do veículo precisar de ser substituído, sendo uma boa alternativa.

Em relação aos objetivos para este trabalho, a proteção das baterias está assegurada uma vez que é possível isolar cada uma das baterias do sistema, através dos relés dos cabos de ligação. O prolongamento do tempo de vida das mesmas é assegurado pelo IC bq78412 da placa de monitorização, uma vez que contem algoritmos específicos para manter o funcionamento da bateria dentro dos seus limites, evitando a má utilização. O terceiro objetivo, porém, não está totalmente desenvolvido neste trabalho. Um dos requisitos seria a adição de uma funcionalidade que permitisse ao utilizador definir o tipo de performance do veículo, se mais potente ou menos potente, tendo o BMS que adaptar o sistemas para ambas as situações.

A interface de utilizador não foi também desenvolvida, sendo um componente a desenvolver em trabalho futuro.

Focando nos pontos fortes deste sistema, pode-se afirmar que a previsão do estado de carga das baterias está assegurado, assim como a obtenção de todo o tipo de informações sobre o funcionamento do veículo, tais como horas de carga, de descarga, número de ciclos, quantidade de energia carregada e descarregada, contagem de tempos de funcionamento por parte da bateria fora dos seus limites, entre outras funcionalidades. O carregamento é gerido também de uma forma que o tempo de vida das baterias seja prolongado, com as diferentes fases de carregamento por parte do UC3909, sem prejudicar o utilizador, dimensionando o carregamento total das baterias para menos de 8h, ou seja, uma noite.

A potência que o sistema consegue lidar é também um ponto a tocar, uma vez que com 6 baterias e de acordo com a legislação Portuguesa atual, é possível ter elevada capacidade pagando um baixo Imposto Único de Circulação, ponto importante devido aos destinatários deste sistema.

Infelizmente não foi possível proceder à implementação física do sistema, devido às dificuldades de aquisição dos componentes e fabrico das placas, que implicaria elevados gastos por parte do ISEP e pessoais. Com a implementação física deste trabalho, procedia-se à validação de dados e estudo do sistema, com a execução de testes. Ter-se-iam outras noções acerca do funcionamento do mesmo, uma vez que a integração do sistema ao veículo não está completamente assegurado, devido às restrições de segurança para este tipo de potência, sendo preciso rever os tipos de ligação e conectores.

Como trabalhos futuros, o desenvolvimento da interface de utilizador é fundamental, assim como a implementação física para execução de testes ao sistema de forma a se proceder à validação do mesmo. A implementação de um sistema de balanceamento ativo é também uma mais valia para o aumento do tempo de vida das baterias.

Referências Documentais

- [1] SCHIFFER, Michael Brian - *Taking charge - The electric automobile in America*. *Smithsonian Institution Press*, 1994. OMER A.M., 2008. - *Energy, environment and sustainable development*. *Renew Sust Energy Rev*;12 (9):2265–300.
- [2] LYONS, Dan - *Prius Expands the Brand: 2012 Toyota Prius c*. *Times Union*, 2012
- [3] U.S. Department of Energy and U.S. Environmental Protection Agency - *Top Ten EPA-Rated Fuel Sippers (1984 to present) (excluding all-electric Vehicles)*, 2012
- [4] JIM KERR - *How top-choice Voltec system works*, 2012 – <http://autos.winnipegfreepress.com/winnipeg-autos/>
- [5] OPEL-VAUXHALL *Ampera*, James Scoltock, 2011 - <http://ae-plus.com/>
- [6] RENATO CANHA AMBROSIO E EDSON ANTONIO TICIANELLI *Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio* - *Instituto de Química de São Carlos, USP* - <http://www.scielo.br/scielo.php?lng=en>
- [7] MARSHALL BRAIN - *How Lithium-ion Batteries Work*
- [8] BATTERY UNIVERSITY – www.batteryuniversity.com, Visitado em Maio de 2012
- [9] *Battery Electric Vehicle Components: Relay, Electric Motor, Wire, Electric Car, Electric Vehicle Battery, Fuse, Battery Charger* - General Books LLC, 2010
- [10] MARK WARNER - *The Electric Vehicle Conversion Handbook: How to Convert Cars, Trucks, Motorcycles, and Bicycles: Includes Ev Components, Kits, and Project Vehicles*; - Penguin Group USA, 2011
- [11] XI ZHANG, CHRIS MI - *Vehicle Power Management: Modeling, Control and Optimization*, London: Springer, 2011.
- [12] CHRIS MI; DAVID WENZHONG GAO; M ABUL MASRUR CHICHESTER - *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*; Wiley, 2011.
- [13] CLAYTON POWER – www.claytonpower.com – visitado em Junho de 2012
- [14] *A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries*, *IEEE - Transactions on Energy Conversion*, Vol.7, No.1, March 1992
- [15] RICHARD PEREZ - *Lead-Acid Battery State of Charge vs. Voltage* , 1993
- [16] MICHAEL HUTTERER, ANTONIO LEONE - *Efficient management of lead-acid batteries for Micro Hybrid Vehicles*, 2011
- [17] *Plug-In Hybrid Electric Vehicles* - U.S. Department of Energy - <http://www.afdc.energy.gov>
- [18] *The Next Generation of Hybrid Cars: Plug-in Hybrids Can Help Reduce Global Warming and Slash Oil Dependency* - Natural Resources Defense Council July 2007 R1 - <http://www.fs.fed.us/>

- [19] <http://www.all-battery.com/index.aspx> - visitado em 22 Junho 2012.
- [20] <http://www.claytonpower.com/?id=41> - visitado em 2 Agosto 2012.
- [21] <http://www.hybridsynergydrive.co.za/hybrid/view/hybrid/en/page51> - visitado em 2 Agosto 2012.
- [22] <http://ecee.colorado.edu/~ecen4517/materials/Battery.pdf> - visitado em 2 Agosto 2012.

Anexo A. Tabela de parâmetros do qb78412

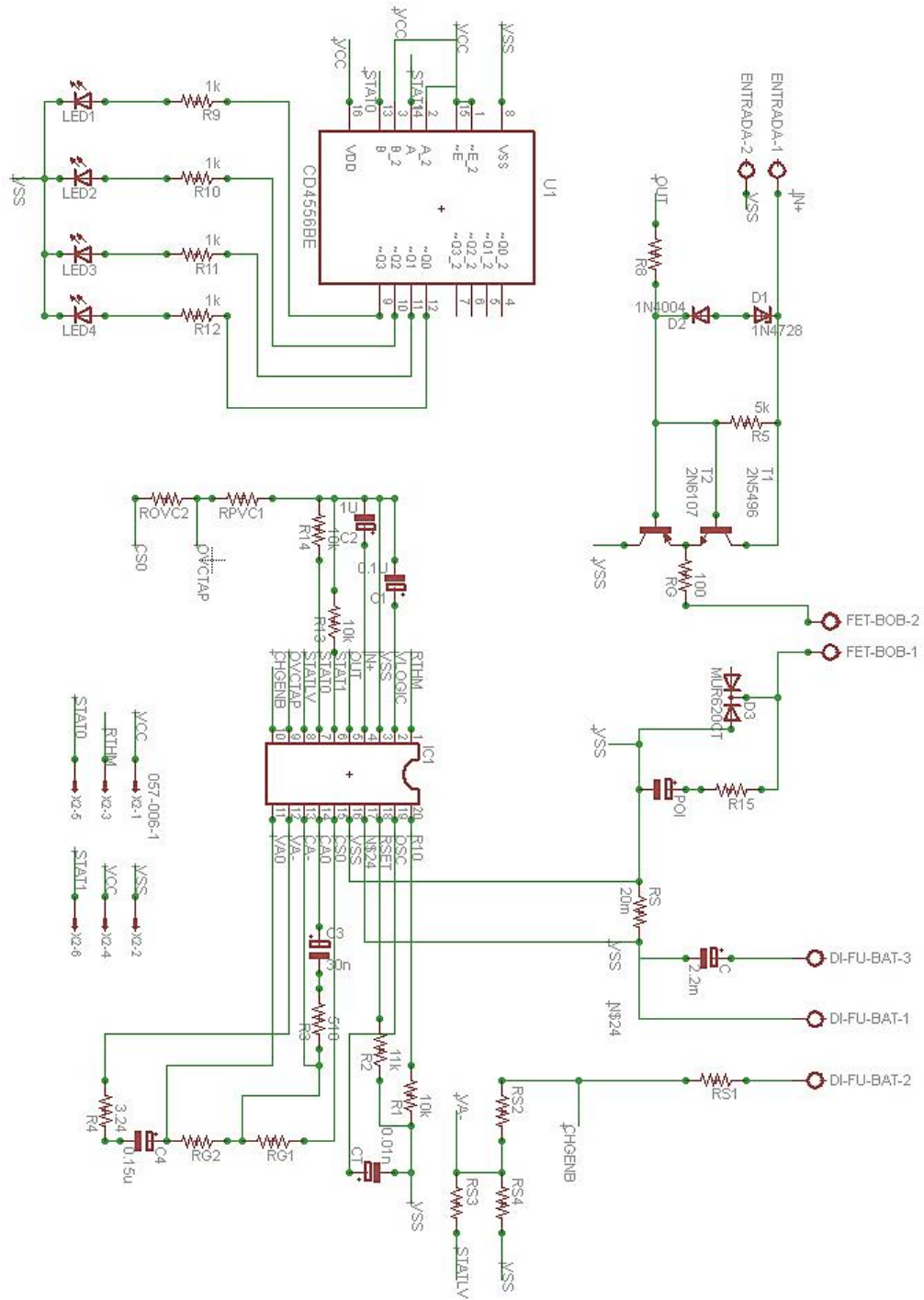
PARAMETER	ADDRESS OFFSET	BYTES	DATA TYPE ⁽¹⁾	ACCESS RIGHTS				DESCRIPTION	DEFAULT VALUE	UNITS
				R	W	R	W			
MultiDropAdr	0x00	2	U	Y	Y	Y	N	Upper byte = reserved Lower byte = Address of device when configured for multi-drop mode.	0xFF	Hex
MANUFACTURER										
InstallDate	0x02	2	U	Y	Y	Y	N	Installation date can be packed as (year-2010) x 512 + month x 32 + day	0xFFFF	
ActivationDate	0x04	2	U	Y	Y	Y	N	Activation date can be packed as (year-2010) x 512 + month x 32 + day	0xFFFF	
ActivationIndicator	0x06	2	Y	Y	Y	Y	N	2 bytes indicating activation status, used as required by manufacturer.	0xFFFF	Packed Alphanumeric
MFGCodeSN	0x08	8	Y	Y	Y	Y	N	Manufacturer code, serial number, etc, used as required by manufacturer.	0xFFFF_FFFF	Packed Alphanumeric
CALIBRATION										
VoltageGain	0x10	2	U	Y	N	Y	N	Scale factor to calibrate gain error on voltage measurement. $V_{CAL} = V_{RAW} \times \frac{32768}{VoltageGain}$	32768	
TempOffset	0x12	2	S	Y	N	Y	N	Temperature calibration offset. $T_{CAL} = T_{raw} + TempOffset$	0	°C
MeasScale	0x14	2	U	Y	N	Y	N	Scale factor to calibrate Gain Error on current measurement. $I_{CAL} = \left(\frac{RAW \times MeasScale}{4096} \right) + CurrentOffset$	4096	
CurrentOffset	0x16	2	S	Y	N	Y	N	Calibration offset for zero current	0	100 mA
MeasConfig	0x18	2	U	Y	N	Y	N	Current measurement configuration	13515	
WARRANTY CHECKS										
OLTresh	0x1A	1	S	Y	N	Y	N	Maximum recommended battery temperature	60	°C
ULTresh	0x1B	1	S	Y	N	Y	N	Minimum recommended battery temperature	0	°C
OvThresh	0x1C	2	U	Y	N	Y	N	Maximum recommended battery voltage	14800	mV
UVThresh	0x1E	2	U	Y	N	Y	N	Minimum recommended battery voltage	10000	mV
OocThresh	0x20	1	U	Y	N	Y	N	Maximum recommended charge current	4	10 A
OodThresh	0x21	1	U	Y	N	Y	N	Maximum recommended discharge current	10	10 A
DodThresh	0x22	1	U	Y	N	Y	N	Threshold of capacity reduction in discharge below which DOD counters are not incremented.	50	0.1 Ah

PARAMETER	ADDRESS OFFSET	BYTES	DATA TYPE ⁽¹⁾	ACCESS RIGHTS				DESCRIPTION	DEFAULT VALUE	UNITS
				LEVEL1	LEVEL2	R	W			
BATTERY AND INVERTER										
DesignCapacity	0x24	2	U	Y	N	Y	N	Battery design capacity.	1500	100 mAhr
Chem ID	0x26	1	U	Y	N	Y	N	Battery chemistry ID. Indicates the chemistry file in use.	0	
NumberCells	0x27	1	U	Y	N	Y	N	Number of nominal 2-V cells in battery	6	
ChgTaperTime	0x28	2	U	Y	N	Y	N	Time after start of charge taper current detection that battery is fully charged. Sets FULL flag on this event.	600	minutes
ChargeTime	0x2A	2	U	Y	N	Y	N	Time after start of charge that battery is considered fully charged. Sets FULL flag on this event.	1200	minutes
EndSchgVolt	0x2C	2	U	Y	N	Y	N	Voltage below which battery is considered at end of discharge.	10800	mV
AGING ALGORITHM										
CapDerateL	0x2E	1	U	N	N	N	N	Number of days after which FCC is decremented by 0.1 Ah in the capacity aging algorithm, before DerateChange.	20	days
CapDerateH	0x2F	1	U	N	N	N	N	Number of days after which FCC is decremented by 0.1 Ah in the capacity aging algorithm, after DerateChange.	10	days
DerateChange	0x30	2	U	N	N	N	N	Number of days after which the aging algorithm changes slope from CapDerateL to CapDerateH.	730	days
SOH CALCULATION										
EolCAP	0x32	2	U	N	N	N	N	End-of-life battery capacity. When full charge capacity falls below the value in this parameter the REPLACE LED is turned on.	1200	100 mAhr
LifeCycles	0x34	2	U	N	N	N	N	Number of full charge/discharge cycles, or equivalent, after which the battery is considered to need replacing. When this cycle count is reached the REPLACE LED is turned on.	1000	
EOLCapWarn	0x36	2	U	N	N	N	N	Battery capacity at which WARN LED is turned on to indicate battery is approaching end of life.	1300	100 mAhr
LifeCycleWarn	0x38	2	U	N	N	N	N	Number of charge/discharge cycles at which WARN LED is turned on to indicate battery is approaching end of life.	800	

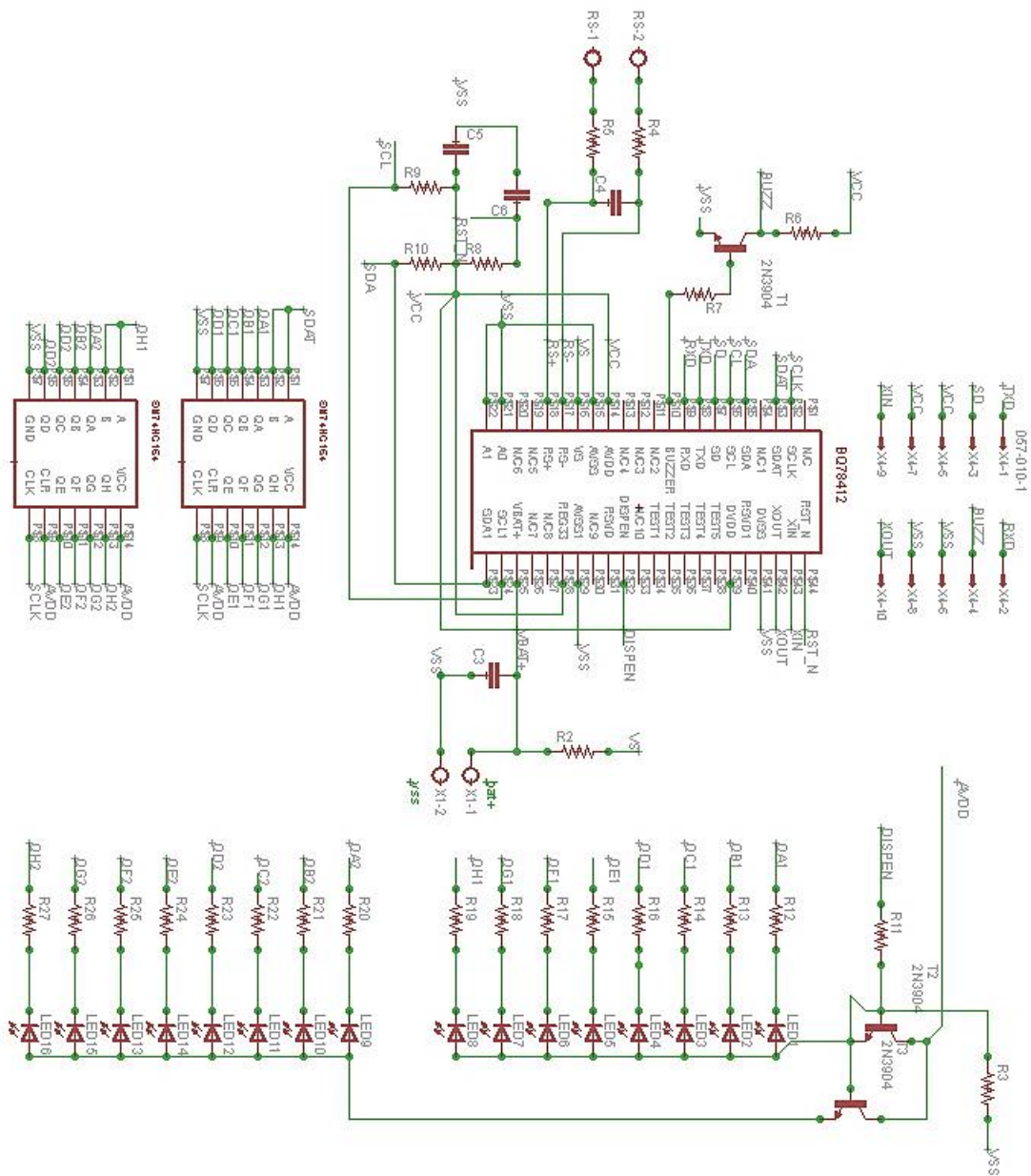
PARAMETER	ADDRESS OFFSET	BYTES	DATA TYPE ⁽¹⁾	ACCESS RIGHTS				DESCRIPTION	DEFAULT VALUE	UNITS
				LEVEL 1	LEVEL 2	R	W			
HARDWARE										
DevConfig1	0x3A	2	U	N	N	N	N	<p>Bit[0]: 1 = Enable broadcast, 0 = disable broadcast (default)</p> <p>Bit[1]: Reserved</p> <p>Bit[5:2]: Number of segments in bar graph display, default = 10.</p> <p>Bit[9:6]: Battery Status Broadcast Interval in seconds, 20+ n*20s, n = 0-15. Default = 20 seconds</p> <p>Bit[10]: 1 = Activated, 0 = Not Activated (default)</p> <p>Bit[11]: UART baud rate 0 = 9600 (default) 1 = 1200</p> <p>Bit[13:12]: 0,0 = NRZ encoding (default) 0,1 = IrDA encoding 1,0 = Reserved 1,1 = Reserved</p> <p>Bit [14]: CapLearnEnable 1 = bq78412 learns the battery capacity opportunistically at end of discharge. 0 = No opportunistic capacity learning (default)</p> <p>Bit[15]: CapAgeEnable 1 = The bq78412 derates the capacity based on aging rates specified. 0 = No age based capacity derating (default)</p>	0x0028	Hex
DevConfig2	0x3C	2	U	N	N	N	N	<p>Bit[1:0]: Number of beeps on empty.</p> <p>Bit[3:2]: Number of beeps when LED0 turns off</p> <p>Bit[5:4]: Number of beeps when LED1 turns off</p> <p>Bit[7:6]: Number of beeps when LED2 turns off</p> <p>Bit[10:8]: Number of beeps on overvoltage</p> <p>Bit[13:11]: Number of beeps on undervoltage</p> <p>Bit[14]: Reserved</p> <p>Bit[15]: Enable external XTAL</p>	0x0000	Hex
LEDs										
DsplyCont1 ⁽²⁾	0x3E	2	U	N	N	N	N	LED bar graph discharge transition point configuration 1		
DsplyCont2 ⁽²⁾	0x40	2	U	N	N	N	N	LED bar graph discharge transition point configuration 2		
DsplyCont3 ⁽²⁾	0x42	2	U	N	N	N	N	LED bar graph discharge transition point configuration 3		
DsplyCont4 ⁽²⁾	0x44	2	U	N	N	N	N	LED bar graph discharge transition point configuration 4	0x1E1E or (30,30)	minutes
DsplyCont5 ⁽²⁾	0x46	2	U	N	N	N	N	LED bar graph discharge transition point configuration 5		
MissChgLim	0x48	1	U	N	N	N	N	Total missed charge due to discharges starting before battery has reached full charge. This number can be set above 100%. Full charge clears this condition.	100%	

PARAMETER	ADDRESS OFFSET	BYTES	DATA TYPE (1)	ACCESS RIGHTS				DESCRIPTION	DEFAULT VALUE	UNITS
				LEVEL1 R	LEVEL1 W	LEVEL2 R	LEVEL2 W			
ALGORITHMS										
ChgEff	0x49	1	U	N	N	N	N	Percentage of charge current actually stored by battery. Any charge current is derated by this parameter. See <i>Charge Efficiency Compensation</i> section for details.	100%	
P-Scale	0x4A	2		N	N	N	N	Peukert Scaling Factor. Unique for each battery and generated along with the battery characterization table. When using the pre-programmed default table, calculate this using: Pscale = $4827 \times (\text{rated current})^{0.4}$	0x2A37	Hex
CurrentAvgTime	0x4C	2	U	N	N	N	N	Current averaging time	120	seconds
IdleThresh	0x4E	2	U	N	N	N	N	Current level below which the part is considered to be in idle state.	3	100 mA
TransToActive	0x50	2	U	N	N	N	N	Current at which battery transitions to charge or discharge mode from idle or sleep modes.	10	100 mA
SleepTime	0x52	2	U	N	N	N	N	Time in idle mode after which the bq78412 transitions to low-power sleep state with the display off.	30	seconds
PASSWORDS										
Level0Password	0x54	4		N	N	N	N	Four byte password for SealedLevel0 access.	0xFFFF FFFF	Hex
Level1Password	0x58	4		Y	Y	N	N	Four byte password for SealedLevel1 access.	0xFFFF FFFF	Hex

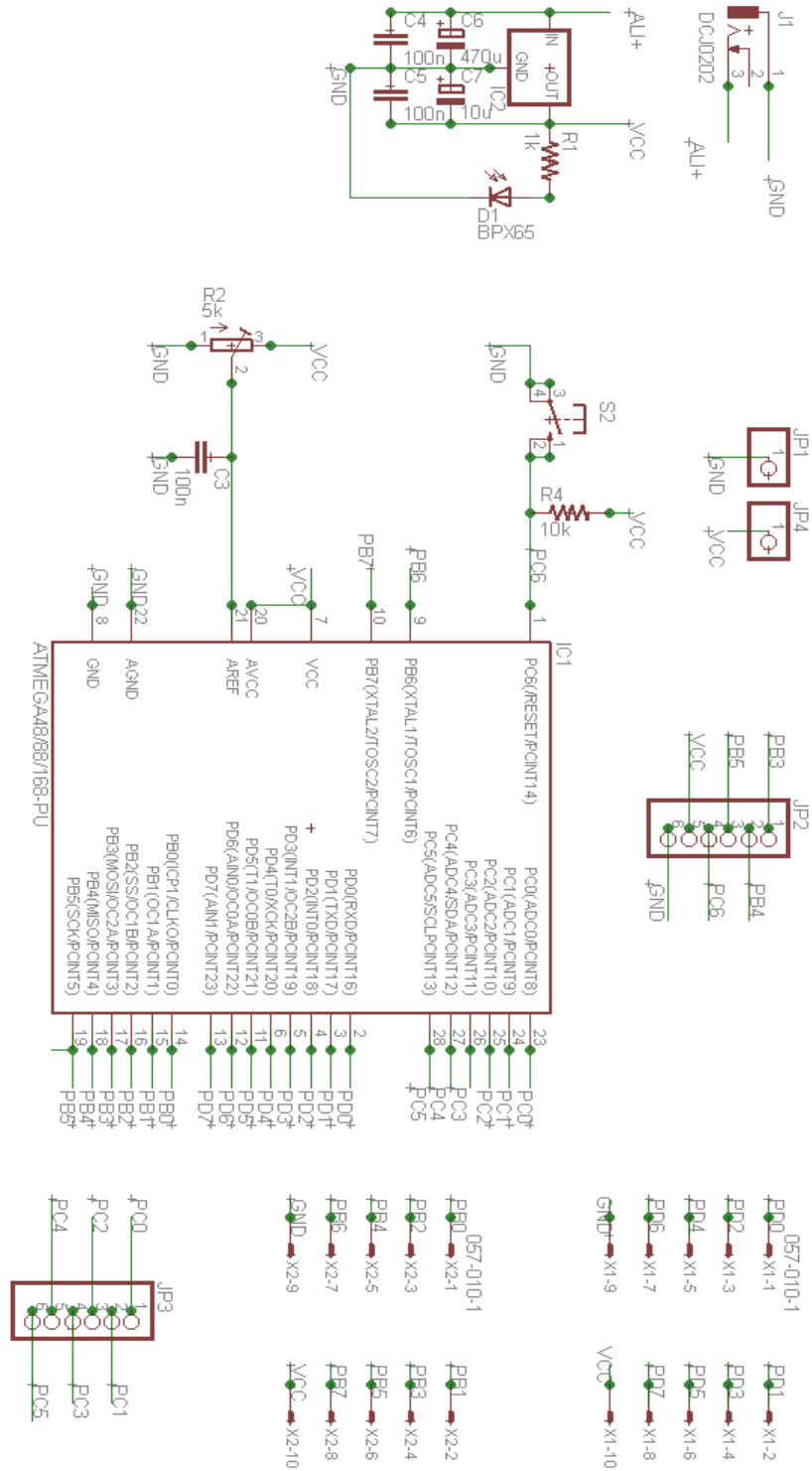
Anexo B. Esquema eléctrico Placa Carregamento



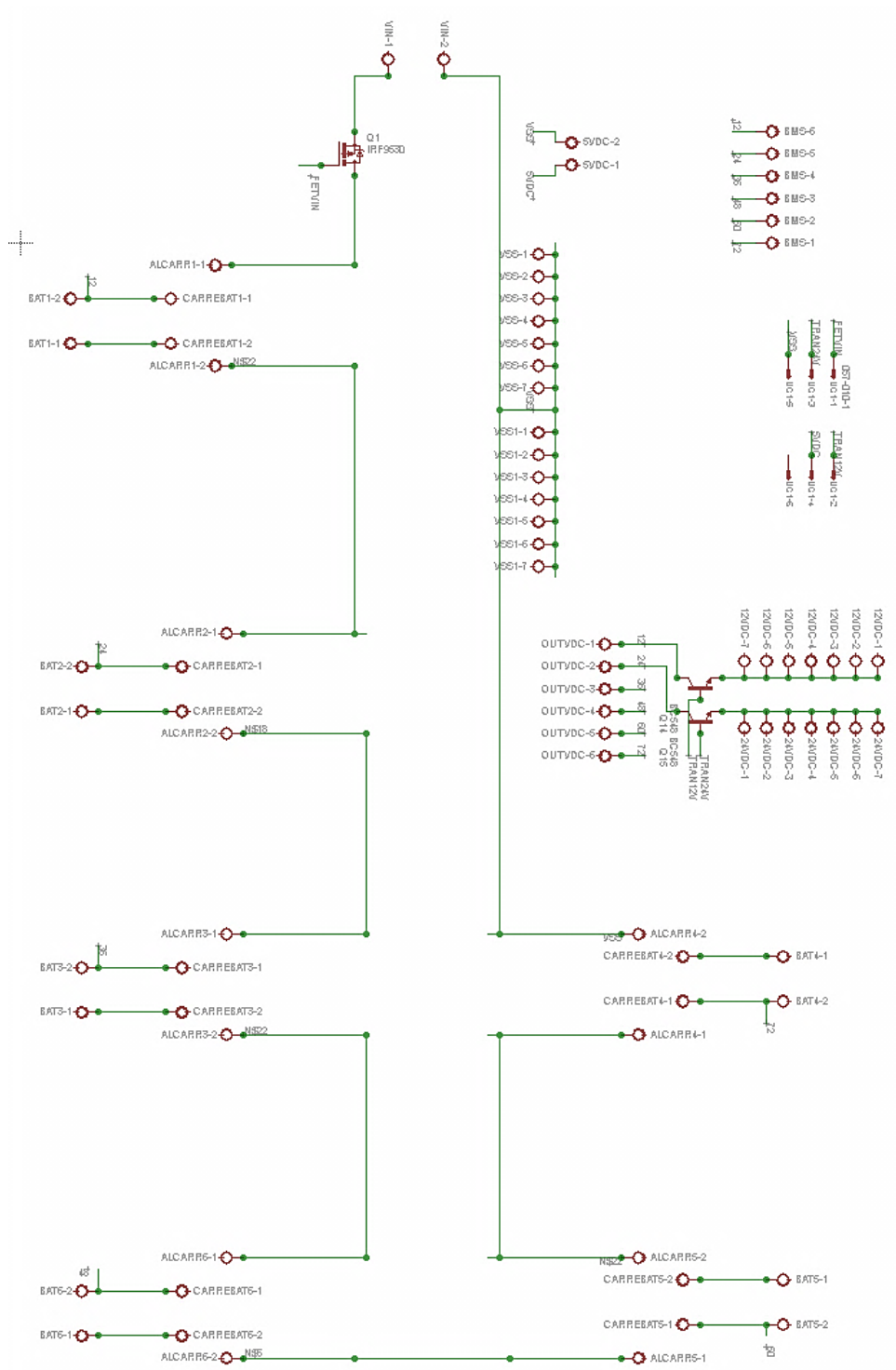
Anexo C. Esquema elétrico Placa de Monitorização



Anexo D. Esquema elétrico Placa de Processamento



Anexo E. Esquema Elétrico Placa de Ligações



Anexo F. Vista geral BMS

