

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Estado da arte: Baterias

Índice

1.	Resumo.....	4
1.	Introdução	5
1.1.	Enquadramento do projeto moto 4 Elétrica:	5
1.2.	Objetivos do trabalho	5
1.3.	Âmbito do Trabalho.....	5
1.4.	Objetivo de estudo	5
1.5.	Estrutura do documento	7
2.	Caraterísticas técnicas e físicas a ter em conta na escolha da bateria e dimensionamento.	7
2.1.	Introdução	7
2.2.	Caraterísticas específicas das baterias	8
3.	Tipo de Baterias	9
4.	Modelos de baterias.....	13
5.	Conclusão	17
6.	Referências	18

Índice de figuras

Figura 1 - Peso da bateria vs. distância.	6
Figura 2 - Custo da bateria vs. distância.	6
Figura 3 - Efeito da temperatura em relação aos ciclos de vida numa bateria de Ni-MH.	8
Figura 4 - Efeito da profundidade de descarga no ciclo de vida de uma bateria NiHm.	9
Figura 5 - Modelo 1.	15
Figura 6 - Modelo 2.	16

Índice de tabelas

Tabela 1 - Energia específica de algumas baterias.....	12
Tabela 2 - Características técnicas de algumas baterias.....	13

1. Resumo

Tanto nos veículos híbridos como nos eléctricos uns dos componentes mais importantes são sem dúvida as baterias eléctricas. E como tal são também o componente que mais influencia o projeto, conceção, fiabilidade e comercialização dos mesmos. Posto isto torna-se essencial dar especial atenção no estudo teórico das baterias.

Neste documento será explicado de uma forma sucinta o que o que é uma bateria, qual a sua importância na tecnologia automóvel atual, os tipos de baterias mais usadas, quais as exigências a que devem responder, como podem ser carregadas ou descarregas e respetivos cuidados a ter, e quais os modelos usados para modelar as baterias com os seus pontos fortes e fracos.

No final teremos qual o tipo de bateria que deve ser usada, qual o modelo a usar, como será o controlo de carga e descarga.

1. Introdução

1.1. Enquadramento do projeto moto 4 Elétrica:

Devido à pressão económica provocada pela constante especulação do mercado do petróleo e consecutivo aumento do seu preço, pressão Ecológica e ambiental, pois os veículos atuais são considerados um dos maiores causadores de poluição ambiental e do aquecimento global com a libertação de gases nocivos, o sector automóvel está a sofrer a maior revolução tecnológica de sempre. Esta revolução teve início com a introdução de veículos Híbridos como o “Toyota Prius” e elétricos como o “Tesla”.

Estes veículos são economicamente mais sustentáveis para o utilizador pois o custo operacional de um carro deste tipo foi estimado em menos de um quarto do custo de um veículo do mesmo segmento a gasolina [1](Chow 2010). Este novo conceito de automóvel é também amigo do ambiente pois são veículos com maior rendimento energético e no caso dos veículos elétricos existe a hipótese de toda a energia usada ser proveniente das energias renováveis, tendo por isso mais um fator em seu benefício que é a baixa ou nenhuma dependência do petróleo num futuro próximo com o desenvolvimento das energias renováveis e das *smart-grids*.

Posto isto, este trabalho para além de um trabalho didático é um trabalho que nos prepara como engenheiros para um futuro que se avizinha, cheio de novas oportunidades.

1.2. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo projetar e simular todos os componentes necessários à conceção de um veículo híbrido.

Os componentes referidos são fundamentalmente três:

- Sistema de tração;
- Sistema de armazenamento;
- Sistema de gestão e controlo.

1.3. Âmbito do Trabalho

Este trabalho está a ser realizado no âmbito das unidades curriculares Sistemas de Engenharia Automação e Instrumentação e Eletrónica Automóvel.

1.4. Objetivo de estudo

Este documento tem como objetivos específicos estudar o sistema de armazenamento elétrico usado em veículos deste tipo.

O sistema de armazenamento é uma peça fundamental num automóvel elétrico, pois é o seu maior ponto fraco. Isto porque tipicamente um terço do peso do automóvel ou mais pertence às baterias. E um quarto ou mais do custo durante a vida útil do veículo depende igualmente das baterias [3](Bansal 2005) . Para melhor se perceber a influência das baterias no

projeto podemos observar as figuras 1 e 2 [4](Doctors 1995)que descrevem a relação peso das baterias vs. distância percorrida e preço da bateria vs distância.

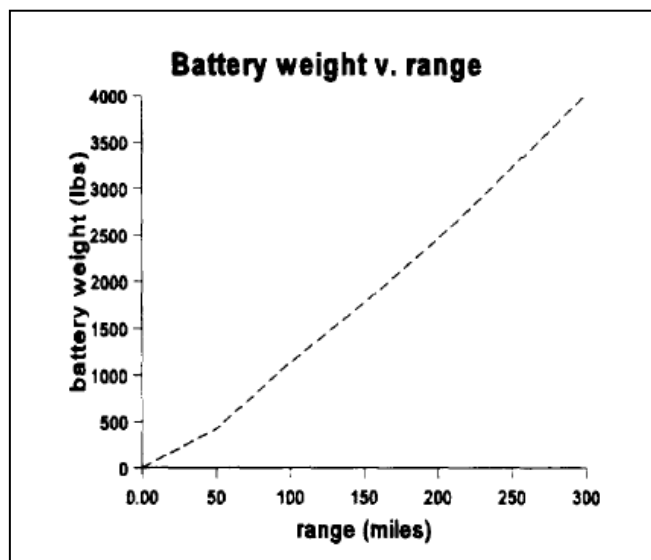


Figura 1 - Peso da bateria vs. distância.

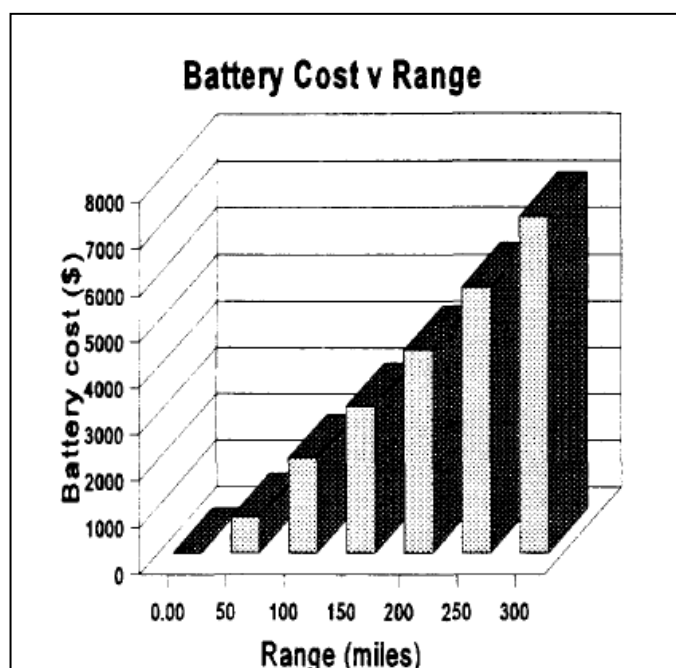


Figura 2 - Custo da bateria vs. distância.

Sendo assim torna-se preponderante para o bom desenrolar do projeto obter um conhecimento alargado dos tipos de baterias existentes, qual ou quais as melhores escolhas e enumerar e explicar as características técnicas das baterias, características estas que influenciarão todo o projeto, e a escolha das mesmas. Explicar como é o carregamento e

descarregamento das baterias e quais os sistemas usados; quais os modelos das baterias existentes e quais os mais adequados.

1.5. Estrutura do documento

Neste documento começaremos por abordar as características técnicas e físicas a ter em conta na escolha das baterias e dimensionamento, de seguida enumeraremos os vários tipos de baterias usadas neste tipo de veículos e quais os seus pontos fortes e pontos fracos.

Iremos estudar os modelos das baterias mais usados explicar porque o são.

Na conclusão é dito qual o tipo de bateria, qual o tipo de sistema de controlo de carregamento e descarregamento e o modelo a usar e finalmente quais as razões para tal escolha.

2. Características técnicas e físicas a ter em conta na escolha da bateria e dimensionamento.

2.1. Introdução

Quais as baterias a usar? Quantas? Em série ou em paralelo?

Estas são algumas das perguntas básicas que temos de responder quando propomos um projeto de um veículo elétrico. As respostas a estas perguntas dependerão do comportamento que se quer do veículo elétrico a projetar.

Quanto maior a tensão do sistema de armazenamento melhor é a aceleração e maior é a velocidade de ponta [1]. O que para tal é preciso aumentar o número de baterias. Em contra partida quantas mais baterias maior é o peso e mais binário será necessário, logo uma maior potência. Tudo isto depende também do tipo de motor e do controlo a usar.

Assim sendo, para escolher o tipo de baterias e a sua quantidade temos de definir primeiro as características que desejamos para o veículo a projetar, sendo essas características a potência do motor, a aceleração, a velocidade de ponta, o peso máximo que o veículo pode ter, a distância que se pretende percorrer e o espaço total necessário para as baterias.

Depois disto definido temos que ter em atenção também a que temperatura as baterias estarão expostas visto que temperatura é uma das condicionantes para o desempenho e durabilidade da bateria. As altas temperaturas tanto aumentam o desempenho das baterias como lhes reduz os ciclos de vida[5](Lorenzo Serrao 2005). No caso dos automóveis elétricos as baterias a usar tem que ser baterias que funcionem em temperaturas altas sem que isso provoque grandes danos e ao mesmo tempo que consigam ter bons desempenhos a baixas temperaturas. Na figura seguinte podemos observar como as altas temperaturas afetam os ciclos de vida das baterias [5].

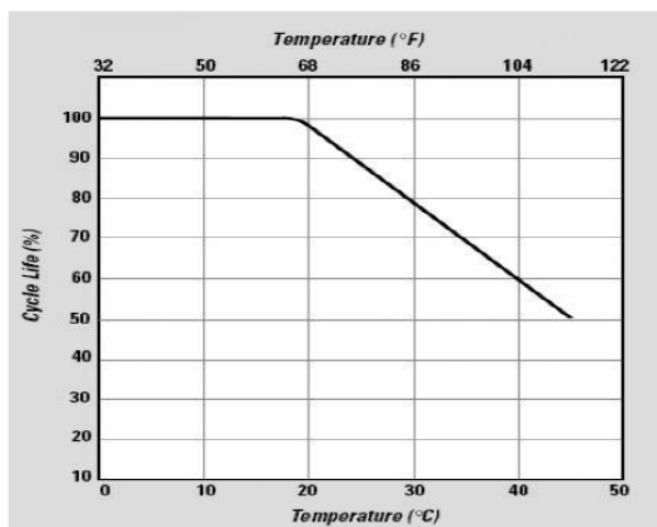


Figura 3 - Efeito da temperatura em relação aos ciclos de vida numa bateria de Ni-MH.

2.2. Características específicas das baterias

Depois de ter em conta todas as condicionantes externas das baterias, mas que afetam diretamente a escolha e desempenho das baterias, passamos agora para as características das próprias baterias que influenciarão a nossa escolha.

Carga Nominal da bateria (Ah) – É a quantidade de corrente que uma bateria pode fornecer numa hora. Esta é uma especificação muito importante na escolha de uma bateria visto que é diretamente proporcional à energia armazenada na bateria. Quanto maior for o taxa Ah mais durará a bateria. Para um veículo elétrico as baterias usadas não devem ser abaixo de 20 ampere-hora [1].

Energia específica - É a quantidade total de energia em watt-hora (Wh), que a bateria pode armazenar por quilograma para uma determinada taxa de descarga [1].

Densidade energética – é a quantidade de energia (em Wh) que a bateria pode armazenar por unidade de volume numa determinada condição de descarga [1].

Densidade de potência – é uma característica muito importante das baterias. A densidade de potência é a potência máxima disponível por unidade de massa (w/Kg) que a bateria pode fornecer numa profundidade de descarga específica. A densidade de potência é maior quando a bateria está completamente carregada. Esta é uma característica especialmente importante para os veículos elétricos, pois influenciará a capacidade de aceleração do veículo [1].

Ciclo de vida – Já antes tínhamos falado desta característica das baterias. O ciclo de vida é a contagem do número total de vezes que a bateria pode ser carregada e descarregada durante a sua vida útil. Quando a bateria não pode mais ser carregada acima de 80% do seu estado de carga então considera-se a sua vida útil chegou ao fim.

Estado de carga (SOC(%))- É a relação entre a tensão máxima esperada aos terminais da bateria e a tensão atual. O estado de carga de uma bateria nunca deve ir abaixo dos 50% pois isso irá danificar a bateria, podendo mesmo inutiliza-la.

A temperatura a que a bateria é sujeita é outra condicionante para o SOC, pois a altas temperaturas o SOC aumenta e quando elas baixam o SOC diminui.

Profundidade de descarga(DOD%) – É a relação entre a quantidade de correntes por hora (Ah) removidas a partir de uma célula da bateria e a carga nominal (Ah) da mesma.

O DOD é uma característica muito importante das baterias no caso de um veiculo elétrico pois quanto independentemente do estado de carga da bateria, se a profundidade de descarga for muito grade vai igualmente baixar drasticamente os ciclos de vida da bateria como poderemos ver na figura 4, que representa o efeito do aumento da profundidade de descarga no numero total de ciclos de vida de uma bateria de Ni-MH [2]. Esta característica influenciará gravemente o projeto da moto4 visto que condicionará a escolha da bateria devida à carga nominal necessária e o número de baterias em paralelo necessárias.

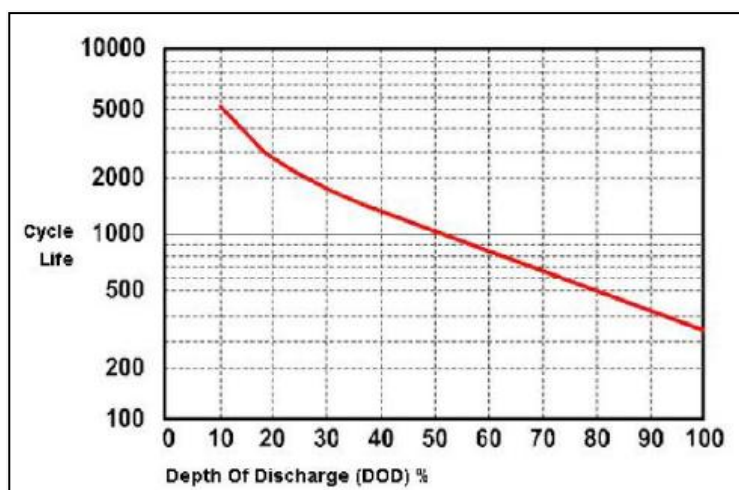


Figura 4 - Efeito da profundidade de descarga no ciclo de vida de uma bateria NiHm.

Depois da exposição feita das características das baterias necessárias é preciso ter em conta a sua escolha Estaremos aptos a passar para o próximo capítulo que se refere ao tipo de baterias existente e mais usadas neste tipo de projetos.

3. Tipo de Baterias

3.1. Introdução

As baterias são compostas por células ligadas entre si em que a energia química é convertida em energia elétrica e vice-versa. Os níveis de tensão e de carga desejados numa bateria são conseguidos ligando um certo número de células em serie e em paralelo

respetivamente. Como vimos no capítulo anterior, as baterias são classificadas em termos da capacidade energética e potência.

Para a maioria dos tipos de baterias, a potência e a energia que estas são capazes de fornecer não são independentes uma da outra e por isso, durante o projeto das baterias, são fixados os valores que se quer atingir para estas grandezas. Como também foi visto existem outras características que influenciam a escolha do tipo de bateria, tais como o ciclo de vida, a temperatura operacional e a profundidade de descarga.

Com o desenvolvimento máximo que tem existido nesta área diferentes tipos de baterias têm sido desenvolvidos, apesar de ser ainda uma área da tecnologia que ainda não é bem entendida o que nos leva a acreditar que muito vai mudar nos tempos vindouros.

3.2. Tipo de baterias mais usadas em veículos elétricos e híbridos

Os principais tipos de baterias usados neste tipo de veículos são [4](Husain 2005):

- Acido-chumbo (Pb - acid);
- Nickel-cadmium (NiCd);
- Nickel hidreto metálico (NiMH);
- Iões de lítio (Li-ion);
- Lítio polímeros (Li-poly);
- Sulfureto de sódio (NaS);
- Ar-Zinco (Zn-Air).

Dentro destas daremos mais ênfase às baterias de acido-chumbo, Nickel-cadmium, Nickel hidreto metálico e Iões de lítio, devido às suas destacadas posições em termos de utilização e perspectivas de evolução.

3.3. Acido-chumbo (Pb - acid)

Baterias de descarga profunda: A maioria dos veículos elétricos ainda hoje está equipada com baterias de ciclo profundo. Este tipo de baterias são projetadas para terem uma vida útil de 400 a 800 ciclos [1].

Baterias "*horizon*": são as baterias usadas no Austin TX, um carro que a Austin está a testar e que tem a capacidade de fazer 177 Km sem carregamento.

Estas são baterias com um fabrico especial que foi patenteado pela "*ELECTROSOUCE*". É uma bateria com maior capacidade, ciclos de vida mais longos de descarga profunda sem degeneração e de recarga rápida e alta energia específica [1].

Os pontos fortes gerais destas baterias são [4]:

- Custo relativamente baixo;
- Matérias-primas de fácil acesso (chumbo, enxofre);
- Facilidade de fabricação;
- Características eletromecânicas favoráveis;

Os pontos fracos são:

- Baixa densidade energética;
- Ciclo de vida reduzido.

3.4. Nickel-cadmium (NiCd)

Este tipo de baterias já é usado por empresas da indústria automóvel da Europa e do Japão. São mais caras do que as baterias de chumbo, mas tem uma maior densidade energética e um ciclo de vida de 1000 cargas.

São um tipo de baterias que podem ser carregadas rapidamente mas que para isso é necessário ter alguns cuidados pois tem tendência a aquecer [1].

O cádmio é altamente tóxico, por isso este é um elemento que tem de ser maneado com muito cuidado. A reciclagem de cádmio é possível, mas perigosa.

Os pontos fortes desta bateria são:

- Maior densidade energética que a bateria de Pb-acid ;
- Maior número de ciclo de vida;
- O cádmio é passível de reciclagem.

Pontos fracos:

- Tendência a subaquecer quando submetida a carga rápida;
- Preço elevado;
- Cádmio é altamente tóxico.

3.5. Nickel hidreto metálico (NiMH)

Esta bateria é constituída por materiais recicláveis e não tóxicos. Tem uma vida útil esperada igual ao dobro da vida útil da bateria de chumbo-acido. É um tipo de bateria livre de manutenção, pode ser carregada rapidamente e suporta sub e sobrecarga sem perigo de subaquecimento ou explosão [1].

Os pontos fortes desta bateria são:

- Maior densidade energética Pb-acid;
- Maior numero de ciclo de vida quando comparada com Pb-acid;
- Reciclável;
- Materiais não tóxicos;
- Uso mais seguro;
- Rápida recarga.

Pontos fracos:

- Ciclos de vida de menor número quando comparada com a bateria NiCd ;
- Preço elevado em relação à Pb-acid.

3.6. Iões de Lítio (Li-ion)

Estas baterias são as baterias usadas nos aparelhos portáteis usados hoje em dia, como os computadores portáteis e os telemóveis, e estão a ser agora usadas por alguns construtores de automóveis, como a Nissan e a Tesla.

São baterias com efeito de memória baixo, alta energia específica (100Wh/Kg) e alta densidade de potência (300W/Kg).

A vida útil espera-se que seja superior a 1000 ciclos.

Cada célula desta bateria tem uma tensão nominal de 2,5 a 4,5V durante o carregamento e descarregamento, respetivamente.

Estas baterias necessitam de um controlo complexo de operação de cada célula e de um sistema eficaz de arrefecimento, com o perigo de explosão na falha destes, sendo que são baterias que custo muito elevado.

Os pontos fortes desta bateria são:

- Maior densidade energética;
- Maior numero de ciclo de vida quando comparada com Pb-acid;
- Maior densidade de potência;
- Maior energia específica;

Pontos fracos:

- Preço elevado;
- Altamente instáveis;
- Sistema de controlo complexo;
- Necessidade de sistema auxiliar de refrigeração;

Para se perceber um pouco melhor a comparação entre os diversos tipos de baterias vamos apresentar algumas tabelas bastante elucidativas.

Na tabela 1 podemos comparar a energia específica entre a bateria de chumbo, NiCd e NiHm [4];

Tabela 1 - Energia específica de algumas baterias.

Battery	Specific Energy (Wh/kg)	
	Theoretical	Practical
Lead-acid	108	50
Nickel-cadmium		20–30
Nickel-zinc		90
Nickel-iron		60
Zinc-chlorine		90
Silver-zinc	500	100
Sodium-sulfur	770	150–300
Aluminum-air		300

Na tabela 2 [5](Lee)podemos comparar as diferenças técnicas entre as bateiras de chumbo e as Li-ion.

Tabela 2 - Caraterísticas técnicas de algumas baterias.

Characteristics of Major Secondary Systems				
	Lead-Acid	NaS	Li Ion	Vanadium Redox
<i>Chemistry:</i>				
Anode	Pb	Na	C	$V^{2+} \leftrightarrow V^{3+}$
Cathode	PbO ₂	S	LiCoO ₂	$V^{4+} \leftrightarrow V^{5+}$
Electrolyte	H ₂ SO ₄	β-alumina	Organic solvent	H ₂ SO ₄
<i>Cell voltage:</i>				
Open circuit	2.1	2.1	4.1	1.2
Operating	2.0 to 1.8	2.0 to 1.8	4.0 to 3.0	
<i>Specific energy and energy density:</i>				
Wh/kg	10 to 35	133 to 202	150	20 to 30
Wh/L	50 to 90	285 to 345	400	30
Discharge profile	Flat	Flat	Sloping	Flat
Specific power (W/kg)	Moderate 35 to 50	High 36 to 60	Moderate 80 to 130	High 110
Cycle life (cycles)	200 to 700	2,500 to 4,500	1,000	12,000
Advantages	Low cost, good high rate	Potential low cost, high cycle life, high energy, good power density, high efficiency	High specific energy and energy density, low self discharge, long cycle life	High energy, efficiency, and charge rate, low replacement cost
Limitations	Limited energy density, hydrogen evolution	Thermal management, safety, seal and freeze-thaw durabilities	Lower rate (compared to aqueous systems)	Cross mixing of electrolytes

3.7. Discussão de resultados

Como podemos facilmente perceber as baterias de chumbo ácido estão a deixar de ser uma opção valida perante a concorrência. O que nos deixa na nossa opinião com duas opções viveis devido às caraterísticas do projeto que se pretende levar a cabo e às caraterísticas técnicas das baterias listadas neste trabalho, sendo essas baterias as baterias de Nickel hidreto metálico e as de iões de lítio Assumindo estas ultimas como uma escolha melhor devido às suas melhores caraterísticas em termos de densidade energética e de potência, permitindo dar um caráter mais “musculado” à nossa mota4.

4. Modelos de baterias

4.1. Introdução

Como já foi dito anteriormente, as baterias são uma parte muito importante num veículo elétrico, talvez a mais importante pois é delas que advém as maiores limitações tanto técnicas como económicas.

Para combater e reduzir estas limitações uma das armas fundamentais é conseguir um modelo que ajude a prever com rigor qual será a performance das baterias sobre diferentes dinâmicas de carga, condições ambientais e condições inerentes à própria bateria.

Um modelo eficaz é a base para uma estimação precisa do estado da bateria em todos os seus aspectos, estado de carga, número de ciclos de vida actuais, estado de funcionamento.

Existindo esta ferramenta, torna-se possível construir veículos mais eficazes e economicamente viáveis, é possível também otimizar o controlo de carga e descarga e otimizar o uso destas de forma a aumentar a sua vida útil.

4.2. O que deve modelar

Um modelo rigoroso deve aproximar-se muito do comportamento da bateria de forma a fornecer informação sobre o seu estado, para isso o modelo deve dar informação sobre:

- Tensão aos terminais da bateria;
- Estado de carga (SOC%);
- Profundidade de descarga(DOD%) ;
- Número de ciclos de vida esperados num dado estado.
-

Para tal o modelo terá que modelar:

- Diferença de comportamento entre a carga e descarga;
- O efeito de sobrecarga e subcarga;
- Efeito de relaxamento;
- Histerese;
- Efeito de altas frequências;
- Efeito da temperatura.

4.3. Que modelo escolher

Como podemos ver no ponto anterior, o modelo terá que dar uma informação ampla sobre as características e o estado da bateria e para isso modelar todos os efeitos provocados por qualquer condição de uso.

Tendo isso em conta tem surgido ao longo do tempo vários tipos de modelos, modelos puramente matemáticos, modelos físicos, modelos elétricos e modelos híbridos, onde se tenta misturar modelos de várias naturezas para conseguir construir um modelo com um comportamento cada vez mais próximo da bateria que se deseja modelar.

Dentro de cada tipo de modelo existe um vasto número de modelos que podem ser usados e que se aproximam mais ou menos da realidade.

Como alunos de eletrotécnica, os modelos do tipo elétrico serão os modelos de mais fácil compreensão e por isso foram a nossa escolha para modelar a bateria.

Como podemos observar no artigo “A New Battery for use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems” do H.L. Chan [4](H.L. Chan 2000), já existiam no ano 2000 diversos modelos elétricos que iam desde uma simples fonte de tensão com uma resistência em série até circuito mais rebuscados e difíceis de aplicar devido às suas exigências de cálculo para a simulação até à exigência de inúmeros parâmetros difíceis de determinar.

Neste trabalho vamos apresentar dois modelos e elétricos que parecem dar resultados bastantes satisfatórios com uma dificuldade de implementação não muito elevada.

Na figura 5 mostramos um modelo baseado num circuito bidirecional, no qual a carga e descarga e a direção da corrente é representada pela direção dos díodos. Este é já um modelo bastante completo visto que já representa a mudança de comportamento da bateria na carga e descarga, representa também o efeito de auto descarga e o efeito de descompressão [8](Martin Coleman 2007).

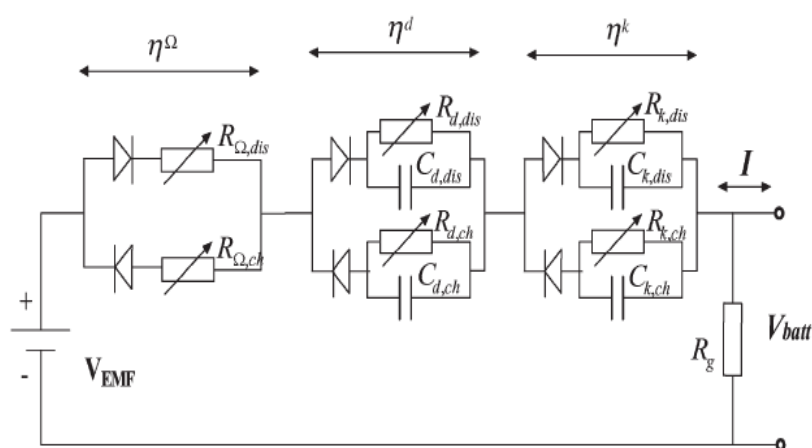


Figura 5 - Modelo 1.

Na figura 6 temos um esquema equivalente um pouco mais rebuscado mas que para além de representar todos os efeitos referidos no modelo a cima, consegue fornecer informação rigorosa sobre o estado de carga da bateria em relação à corrente de descarga num dado instante[8](Ryan C. Kroeze 2008).

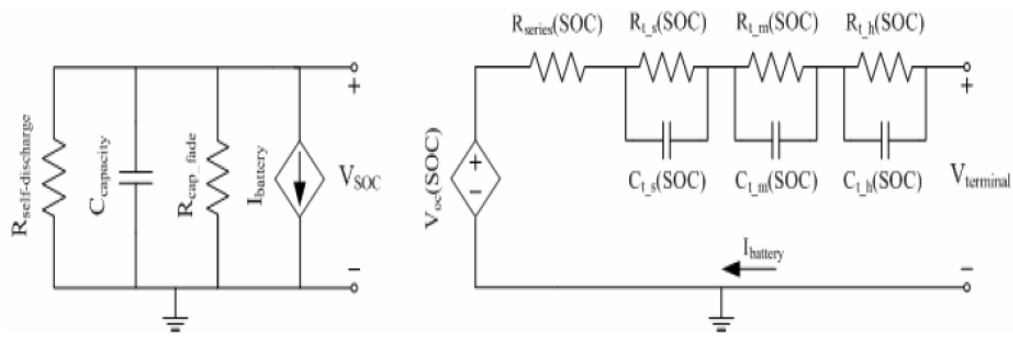


Figura 6 - Modelo 2.

4.4. Discussão de resultados

Depois de ler todo o capítulo sobre modelos será fácil perceber que apesar de mais complicado e de ter componentes que serão de difícil caracterização e que levará a um trabalho suplementar de testes às baterias para quantificar esses parâmetros, o modelo 2 é o modelo mais indicado a ser usado no nosso projeto.

5. Conclusão

Neste trabalho procuramos fazer uma lista das baterias mais usadas na indústria de carros elétricos e híbridos e dos modelos mais usados para as modelar, de forma a conseguir fazer uma escolha bem sustentada do tipo de baterias a usar e do modelo mais preciso para as modelar.

Como primeira opção de bateria temos as baterias de iões de lítio, devido à sua alta densidade energética e de potência. No entanto temos que fazer uma ressalva pois as baterias de Nickel hidreto metálico seriam também uma ótima escolha, visto terem características técnicas boas e principalmente pelo seu caráter ecológico.

Relativamente aos modelos podemos concluir que o modelo número 2 é o modelo mais indicado, apesar que de futuro tentaremos apresentar um modelo ainda mais completo, mas este será do tipo híbrido, misturando um modelo do tipo elétrico com o modelo do tipo físico.

6. Referências

- [1] Bansal, R. C. (2005). Electric Vehicles. Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives, B. I. o. T. a. Science. Pilani, Taylor & Francis Group, LLC: 10,11,12,13,14.
- [2] Chow, H. Z. a. M.-Y. (2010) Comprehensive Dynamic Battery Modeling PHEV Applications.
- [3] Doctors, R. (1995) A SYSTEMS APPROACH TO BATTERY POWERED VEHICLES. 117 - 123
- [4] H.L. Chan, D. S. (2000) A New Battery Model for use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems. 470 - 475
- [5] Husain, I. (2005). Electric and Hybrid Vehicles. Design Fundamentals. C. PRESS. New York Washington, D.C., Taylor & Francis e-Library.
- [6] Lee, I. S. a. S.-H. Battery Energy Storage. Large Energy Storage Systems Handbook.
- [7] Lorenzo Serrao, Z. C., Yann Guezennec, Giorgio Rizzoni (2005) An Aging Model of Ni-MH Batteries for Hybrid Electric Vehicles. 78 - 85
- [8] Martin Coleman, C. K. L., Chunbo Zhu, and William Gerard Hurley (2007). "State-of-Charge Determination From EMF Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage, and Current for Lead-Acid and Lithium-Ion Batteries." IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS **VOL. 54**: 2550-2557.
- [9] Ryan C. Kroeze, P. T. K. (2008) Electrical Battery Model for Use in Dynamic Electric Vehicle Simulations. 1336-1343